

Aus dem Institut für Tierzucht und Tierernährung
der
Freien Universität Berlin
Direktor: Prof. Dr. Kurt Bronsch

Über die Verwertung von Nahrungscalcium und den Ca-Umsatz im Skelett von Legehennen

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Dieter Schneider
Tierarzt aus Teupitz

Berlin 1967
Journal-Nr. 588

Aus dem Institut für
Tierzucht und Tierernährung
der

Freien Universität Berlin
Direktor: Professor Dr. Kurt Bronsch

Über die Verwertung von Nahrungscalcium
und den Ca-Umsatz im Skelett von Legehennen

INAUGURAL - DISSERTATION

zur
Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin

an der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Dieter Schneider

Tierarzt
aus Teupitz

Berlin 1967

Journal-Nr. 588

Gedruckt mit Genehmigung der Veterinärmedizinischen
Fakultät der Freien Universität Berlin

Dekan: Prof. Dr. G. Bergmann

Referent: Prof. Dr. K. Bronsch

Korreferent: Prof. Dr. Dr. K. Drepper

Tag der mündlichen Prüfung: 11. Oktober 1967



Meinen Eltern gewidmet



Digitized by the Internet Archive
in 2026

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite
I. EINLEITUNG	1
II. LITERATUR	2
Eigene Untersuchungen	13
III. ARBEITSPLAN	13
IV. TIERMATERIAL UND METHODIK	15
A. Versuchstiere und ihre Haltung	15
B. Versuchsablauf	16
C. Aufbereitung der Proben	18
D. Analytik	19
E. Statistische Auswertung der Meßergebnisse	20
V. ERGEBNISSE	21
A. Mobilisation und Exkretion von inaktivem Depotcalcium	21
B. Mobilisation und Exkretion von Skelettcalcium	23
C. Die Einbaurrate von Calcium in das Skelett	25
D. Verhalten der spezifischen Aktivität des Calciums in "medullary bone" und Kompakta	27
E. Umfang des im "medullary bone" vorhandenen Calciums	28
F. Der Radiocalciumgehalt einzelner Knochen in Relation zur Ca^{45} -Aktivität des Gesamtskeletts	33
G. Endogene Ca-Fraktion in den Faeces und der Ca-Resorptionskoeffizient	34
H. Angaben über Futterverzehr und Legeleistung der Versuchstiere	37
VI. DISKUSSION	39
A. Zur Mobilisation und Exkretion von Skelettcalcium	39
B. Zum Einbau von Calcium in das Skelett	42
C. Zur spezifischen Aktivität des "medullary bone" und der darin enthaltenen Ca-Menge	43
D. Zum Radiocalciumgehalt einzelner Knochen in Relation zur Ca^{45} -Aktivität des Gesamtskeletts	45
E. Zur endogenen Ca-Fraktion in den Faeces	46
VII. ZUSAMMENFASSUNG	49
VIII. LITERATURVERZEICHNIS	52

I. EINLEITUNG

Ungenügende Stabilität eines beträchtlichen Teils der Eischalen von Hybrid-Rassen mit hoher Legeleistung sowie zur Zeit vermehrt auftretende Mineralisationsstörungen im Bereich des Skeletts von Junghennen fügen der Landwirtschaft alljährlich spürbare Verluste zu.

Die Pathogenese derartiger Erscheinungen zu klären ist mit großen Schwierigkeiten verbunden, da über die Mechanismen der Eischalenverkalkung und der Bildung von Knochen-substanz weitgehende Unklarheit herrscht.

Selbst über die Verwertung von Nahrungscalcium und den Calcium-Umsatz im Skelett bei Legehennen sind bislang noch keine ausreichenden Angaben verfügbar. Es ist daher erforderlich, die Kenntnisse über einzelne Vorgänge innerhalb des Ca-Stoffwechsels beim Geflügel systematisch zu erweitern.

Um hierzu experimentell beizutragen, hat mir Herr Professor Dr. K. BRONSCH die Aufgabe gestellt, im Rahmen bereits begonnener Untersuchungen die Verwertung von Nahrungscalcium, die Deposition und Mobilisation von Calcium im Skelett von Legehennen mit Hilfe des radioaktiven Indikators Calcium-45 quantitativ zu ermitteln.

II. LITERATUR

Der Ca-Stoffwechsel des Legegeflügels ist durch einen großen und schnellen Umsatz von Calcium gekennzeichnet, der sich im wesentlichen nach der Legeleistung richtet.

Zur Mineralisation einer Eischale werden etwa 2 g Ca benötigt; das sind mehr als 10 % des Gesamtcalcium-Gehalts einer Legehenne.

Während der Eischalenbildung, die innerhalb von 17 - 20 Stunden erfolgt (30), wird der Schalendrüse mit dem Blut kontinuierlich Calcium zugeführt, das zum Teil aus der Nahrung resorbiert und teilweise aus dem Skelett freigesetzt worden ist. Die Resorption von Nahrungscalcium, dessen Einbau in das Knochensystem bzw. in die Eischale sowie die Mobilisation von Calcium aus dem Skelett sind somit die beim Legegeflügel vorwiegend interessierenden Einzelvorgänge innerhalb des Calciumstoffwechsels; diese quantitativ zu erfassen, ist allerdings nur nach radioaktiver Markierung entweder des endogenen oder des exogenen Calciums möglich.

Die bislang vorliegende Literatur über die Verwertung von Nahrungscalcium und dessen Einbau in die Eischale ist erst kürzlich von BRONSCH und Mitarbeitern (5,6), von KEHRER (18) sowie von LÖRCHER und BRONSCH (21) ausführlich besprochen worden, so daß auf eine erneute Zusammenstellung verzichtet werden kann.

Es soll jedoch in diesem Kapitel ein Überblick gegeben werden über die Ergebnisse jener Arbeiten, die sich mit der Einlagerung und der Mobilisation von Calcium im Knochensystem und mit der Bedeutung des Skeletts als Ca-Quelle für die Eischalen befassen.

A. Calciumspeicherung und Bildung von
medullary bone beim Geflügel

Schon 1932 stellte COMMON (7) auf Grund von Calcium-Bilanzen fest, daß Junghennen etwa 10 Tage vor Legebeginn vermehrt Calcium retinieren, ein Befund, der später von verschiedenen Autoren bestätigt worden ist (8,9,12,28,29).

Ebenfalls einige Tage vor Beginn der Legetätigkeit werden die Markhöhlen vieler Knochen weiblicher Vögel ossifiziert. So beobachteten KYES und POTTER (19) erstmals 1934 makroskopisch-anatomisch eine Verknöcherung der Röhrenknochenmarkhöhlen bei Tauben in Abhängigkeit von der Follikelgröße. Enthielt das Ovar einen Follikel von 4,5 mm Durchmesser oder darüber, so waren erste Anzeichen einer Markhöhlenverknöcherung sichtbar; bis zur Reife des ersten Follikels füllten sich die Markhöhlenräume fast vollständig mit anastomosierenden Knochentrabekeln.

Dieses System neugebildeten Knochengewebes in den Markhöhlen wird im angelsächsischen Schrifttum seit KYES und POTTER (19) mit "medullary bone" bezeichnet, ein Ausdruck, der auch in der vorliegenden Arbeit angewendet wird.

"Medullary bone" ist weder bei männlichen Vögeln noch bei weiblichen Tieren außerhalb der Legeperiode vorhanden, hat daher keine Stützfunktion, sondern dient vornehmlich als mineralischer Speicher, dessen Inhalt bei Bedarf während der Eischalenmineralisation rasch mobilisiert werden kann.

Diese Ansicht über die funktionelle Bedeutung des "medullary bone" wurde durch histologische Untersuchungen unterstützt, die BLOOM und Mitarbeiter (4) an Tauben durch-

führten: Destruktive Veränderungen im "medullary bone", hervorgerufen durch osteoklastische Aktivität (osteoklastische Phase) fielen in den Zeitabschnitt der Eischalenmineralisation, während zu Zeiten ohne oder nur geringer Eischalenbildung die Tätigkeit der Osteoblasten (osteoblastische Phase) überwog.

STRINGER (25) hat den periodischen Auf- und Abbau von "medullary bone" anhand cytologischer Veränderungen in Abhängigkeit vom Funktionsstadium der Schalendrüse bei Legehennen bestätigen können.

Auf die komplizierten und nur z.T. bekannten endokrinen Steuermechanismen bei der Bildung und Auflösung von "medullary bone" einzugehen, würde den Rahmen dieser Arbeit übersteigen. In diesem Zusammenhang sei auf die Literaturübersicht von SIMKISS (24) sowie auf die Untersuchungen von STRINGER (25) verwiesen.

In neuerer Zeit hat HURWITZ (14) an 20 weißen Leghornjunghennen im Alter von 4 1/2 Monaten folgende Fragen zu klären versucht: 1. Welches Zeitintervall liegt zwischen dem Einsetzen der Legetätigkeit und dem Beginn der Bildung von "medullary bone". 2. Woher stammt das zur Mineralisation von "medullary bone" benötigte Calcium. Hierzu wurden die Versuchstiere, deren Ration 4,1 % Ca enthielt, in 3 Gruppen aufgeteilt: 4 Tiere erhielten einmalig $7 \mu\text{CiCa}^{45}$ intravenös (Gruppe 1), und zwar innerhalb einer Woche vor dem voraussichtlichen Legebeginn; weiteren 4 Tieren wurde die gleiche Ca^{45} -Dosis 1 - 2 Wochen vor Legebeginn injiziert (Gruppe 2), während die restlichen 12 Junghennen zum Zeitpunkt der Ca^{45} -Applikation noch mehr als 2 Wochen vor sich hatten, bis sie die Legetätigkeit aufnahmen (Gruppe 3).

Zum Zeitpunkt der Ca^{45} -Applikation wurden aus jeder Gruppe Kontrolltiere geschlachtet, die selbst kein Radiocalcium erhielten. Die Oberschenkelknochen der Kontrolltiere aus Gruppe 1 enthielten schon eine beträchtliche Menge "medullary bone", diejenigen aus Gruppe 2 und 3 dagegen noch keines.

Nach Ablage des ersten Eis wurden alle Versuchstiere getötet und in Blutplasma, den Eischalen sowie in den Femursegmenten Calcium und Radiocalcium bestimmt.

Die spezifische Aktivität des Schalencalciums der Ersteier - ausgedrückt in Prozent der Ca^{45} -Dosis pro Gramm Calcium - fiel vom 2. bis 13. Tag nach der Ca^{45} -Verabreichung von 32 bis in den Bereich um 1 und blieb vom 16. Tage an bis zur Beendigung des Versuchs am 47. Tag in dieser Größenordnung konstant.

Die spezifische Aktivität im Blutplasma, das nach der Eiblage entnommen worden ist, war anfänglich wesentlich niedriger als diejenige in der Eischale; vom 13. Tage an waren die Differenzen jedoch nurmehr gering.

Die spezifischen Aktivitäten in den Femurenden und im -corticalsegment zeigten leicht ansteigende Werte vom 2. bis 12. Tag (3 - 7 bzw. 1 - 4), blieben aber dann bis zum Ende des Versuchs weitestgehend unverändert. Dagegen fiel die spezifische Aktivität im "medullary bone" etwa 14 Tage nach der Ca^{45} -Injektion auf Werte, die unter denen in den Femurenden lagen. Vorher waren sie höher als jene.

Aus diesem raschen Abfall der spezifischen Aktivität im "medullary bone" zwischen dem 14. und 16. Tag nach der Ca^{45} -Dosierung folgert HURWITZ (14), daß vor diesem Zeitpunkt "medullary bone" bereits vorhanden bzw. im Aufbau

begriffen war. Dies steht mit dem Abfall der spezifischen Aktivität des Schalencalciums zur selben Zeit sowie mit den makroskopisch-anatomischen Befunden bei den Kontrolltieren in guter Übereinstimmung.

Die spezifische Aktivität war im "medullary bone" selbst noch nach mehreren Wochen 2 - 3 mal so hoch wie im Plasma; dies deutet der Autor als Anzeichen dafür, daß das "medullary bone" zumindest einen Teil seines Calciums aus den benachbarten Knochenpartien bekommt - eine Erklärung, die durch das Verhalten der spezifischen Aktivitäten in den übrigen Femursegmenten noch unterstützt wird. Auch GOVAERTS und DALLEMAGNE (11) zogen aus ihren Experimenten den Schluß, daß etwa 50 % des Phosphors für die Formation des "medullary bone" bei oestrogenisierten männlichen Tauben aus strukturiertem Knochen stammt.

B. Die Verteilung des "medullary bone" im Skelett von Legehennen

Das Vorhandensein von "medullary bone" wurde von KYES und POTTER (19) sowie von BLOOM und Mitarbeitern (2,3) zunächst nur an den Röhrenknochen der Hinterextremitäten bei Tauben kurz vor oder während der Legeperiode beobachtet. ZONDEK (31) fand "medullary bone" auch in der Wirbelsäule von oestrogenisierten Hähnchen. Auch bei anderen Vogelarten, z.B. bei Spatzen (23) und Enten (20), wurde das Vorkommen von "medullary bone" festgestellt.

TAYLOR und MOORE (26) wiesen 1953 bei Legehennen in sämtlichen Knochen "medullary bone" nach, jedoch war dessen Anteil im Kopfskelett, im Humerus sowie in Metacarpus, Metatarsus und den Zehenknochen gering; besonders große

Mengen an "medullary bone" enthielten das Sternum, die Rippen und die Beckenknochen.

Nachstehend sind die von TAYLOR und MOORE (26) an 8 normal ernährten Legehennen ermittelten prozentualen Gewichtsanteile des "medullary bone" für verschiedene Knochen auf der Basis der fettfreien Trockensubstanz wiedergegeben.

Tabelle 1

Verteilung des "medullary bone" im Legehennenskelett
nach TAYLOR und MOORE (26)

Knochen	Prozentualer Gewichtsanteil an "medullary bone" in der fettfreien Trockensubstanz
Tibia	12,4
Femur	21,8
Beckenknochen	20,8
Sternum	15,5
Rippen	29,2
Ulna	4,0
Zehen	1,3
Scapula	16,1
Gesamtskelett	11,7

HURWITZ (13) ermittelte bei Legehennen im Femur mit 21 % und in der Tibia mit 13 %, bezogen auf Trockensubstanz, nahezu die gleichen Anteile an "medullary bone".

Auf Grund der Verteilung des "medullary bone" im Skelett sind erste Hinweise auf die Beteiligung einzelner Knochen am Mineralstoffwechsel erhalten worden. In weiterführenden Arbeiten sind Bestimmungen des Ca-Umsatzes in einzelnen Knochen bzw. in funktionell verschiedenen Abschnitten innerhalb eines Einzelknochens durchgeführt worden; hierüber soll im folgenden Abschnitt eine Übersicht vermittelt werden.

C. Zum Ca-Umsatz einzelner Knochen
bzw. verschiedener Knochenabschnitte

TAYLOR und MOORE (27) zeigten an Ca-arm (0,054 % Ca) ernährten J u n g h e n n e n , die mit dem Legen anfangen, daß nach Ablage der 2, 4 bzw. 6 ersten Eier der Ca-Verlust des Skeletts 16,3, 25,2 bzw. 38,4 % betrug. Gemessen an der Verminderung der Aschegewichte traten die größten Verluste an mineralischer Substanz in denjenigen Knochen mit hohem Gehalt an "medullary bone" auf. Bezogen auf die Werte der Kontrolltiere, die kein Ei ablegten, betrug das Aschegewicht nach der Produktion von 6 Eiern in den Rippen nur noch 39,8, im Sternum 41,5, in den Beckenknochen 45,2, im Femur 55,1 und in der Tibia 69 %, während das Kopfskelett noch 89,4 und die Zehen 95 % aufwiesen. Die auf ein Standard-Skelett-Gewicht korrigierten Aschegewichte des "medullary bone" zeigten jedoch im Gegensatz zu jenen der Cortex nach Ablage von 2, 4 bzw. 6 Eiern keine Verminderung, sondern blieben nahezu konstant.

Nach Ansicht von TAYLOR und MOORE (27) spricht dieser Befund dafür, daß bei unzureichender Ca-Zufuhr mit der Nahrung das "medullary bone" als Ca-Speicher für die Eischalenbildung aus den corticalen Abschnitten der Knochen solange nachgefüllt wird, bis auch deren Ca-Reserven erschöpft sind.

Diese Anschauung wird durch weitere Ergebnisse von HURWITZ (14) unterstützt. 72 vier Monate alten J u n g h e n n e n , deren Versuchsration 1,2 bzw. 4,1 % Ca enthielt, wurden 7 - 10 Tage bzw. mindestens 14 Tage vor dem vermutlichen Legebeginn $2 \mu \text{CiCa}^{45}\text{Cl}_2$ intravenös verabfolgt. Nach Ablage von 0, 1, 2 bzw. 5 Eiern wurden die Tiere getötet und der Calcium- und Radiocalciumgehalt in den beiden Femurenden, in der Cortex sowie im "medullary bone" des Femurschafts bestimmt.

Der Ca-Gehalt in den Femurenden und der -cortex war höher nach hoher Ca-Zufuhr; dies war im Segment des "medullary bone" nicht festzustellen. Die Eiproduktion reduzierte bei beiden Ca-Dosierungen den Ca-Gehalt vor allem in den Femurenden, nicht jedoch im Bereich des "medullary bone".

Die höhere Ca-Dosierung im Futter verminderte die Ca^{45} -Retention in den Femurenden und in der -cortex, jedoch nicht im "medullary bone"; ebenfalls setzte die Legetätigkeit den Ca^{45} -Gehalt nur in den Femurenden und in der -cortex herab, während im "medullary bone" keine signifikante Veränderung festzustellen war.

An 72 e i n j ä h r i g e n L e g e h e n n e n , deren Versuchsration 3,5, 1,8 bzw. 0,8 % Ca enthielt, konnten HURWITZ und BAR (16) eine fütterungsbedingte Ca-Verarmung nicht nur in den Femurenden, sondern statistisch hoch gesichert auch im "medullary bone" nachweisen. Längere Zeit in Produktion stehende Legehennen reagieren im Bereich des "medullary bone" auf eine Ca-Mangeldiät demnach anders als Junghennen zum Zeitpunkt des Legebeginns. Der Ca-Gehalt der Cortex blieb dagegen bei einjährigen Legehennen von der Ca-Konzentration des Futters unbeeinflusst.

2, 24, 96 und 168 Stunden nach einmaliger intravenöser Applikation von $8 \mu \text{CiCa}^{45}$ wurde bei diesen unterschiedlich mit Ca versorgten Tieren auch die Ca^{45} -Retention sowie die spezifische Aktivität in den verschiedenen Femursegmenten ermittelt (17). 4 Stunden nach der Ca^{45} -Gabe war bei 1,8 % Ca im Futter die Ca^{45} -Retention und die spezifische Aktivität in den Femurenden und der Cortex höher, als bei den Tieren mit 3,5 % Ca im Futter. Diese Unterschiede blieben bis 24 Stunden nach der Ca^{45} -Dosierung bestehen.

Aufschlußreich erscheint auch das Verhalten der spezifischen Aktivitäten in den Femurenden und im "medullary bone" zu verschiedenen Zeiten nach der Ca^{45} -Gabe: 4 Stunden post injectionem ist die spezifische Aktivität im "medullary bone" bei sämtlichen Gruppen wesentlich höher als in den Femurenden; schon nach 24 Stunden gleichen sich diese Unterschiede allerdings weitestgehend aus.

Um den Einfluß der Eischalenbildung auf den Ca-Umsatz im Skelett auszuschalten, blockierte HURWITZ (15) in einem anderen Experiment die Legetätigkeit von 31 einjährigen Hennen, deren Ration 3,3 % Ca enthielt, durch Zugabe von 0,04 % Nicarbazin zum Futter. Zwischen der 3. und 168. Stunde nach i.v. Injektion von $3 \mu \text{CiCa}^{45}\text{Cl}_2$ wurde wiederum die aufgenommene Ca^{45} -Menge sowie die spezifische Aktivität in den verschiedenen Femurabschnitten bestimmt. Das austauschbare Calcium sowie die Ca-Einlagerungsrate (Accretion) wurden nach der von BAUER und Mitarbeitern (1) angegebenen Integralgleichung berechnet. Eine Zusammenstellung dieser Werte wird in Tabelle 2 wiedergegeben.

Tabelle 2

Calciumaustausch und Accretionsrate in den Femursegmenten
mit Nicarbazin behandelter Hennen
nach HURWITZ (15)

Femur-Segmente	Ca-Gehalt mg	Austauschb. Ca		Accretionsrate	
		mg	%	mg/h	%/h
Ende	655	21,50	3,3	1,50	0,22
Cortical	419	22,23	0,5	0,23	0,055
Medullary	228	9,61	5,2	0,83	0,36

Danach ist das austauschbare Calcium und die Accretions-rate absolut betrachtet in den Femurenden am höchsten. Prozentual weist jedoch das "medullary bone" den größten Ca-Umsatz auf, der im Vergleich zur Cortex etwa das Zehnfache beträgt.

22 Leghornhennen mit guter Legeleistung erhielten in einem weiteren von HURWITZ (15) durchgeführten Experiment ein mit $\text{Ca}^{45}\text{Cl}_2$ markiertes Futter; zwischen dem 4. und 54. Tag nach Beginn der Ca^{45} -markierten Fütterung wurde in verschiedenen Knochen des Skeletts die spezifische Aktivität bestimmt. Am schnellsten erfolgte die Ca^{45} -Incorporation im "medullary bone" des Femurs und der Tibia, gefolgt von den Enden dieser Knochen und dem Sternum. In die Cortex des Femurs und der Tibia wurde Radiocalcium am langsamsten eingebaut. Diese Reihenfolge wurde nie durchbrochen, war also unabhängig von der Dauer der Verabreichung der markierten Ration.

Den Ca^{45} -Einbau sowie den in-vitro-Austausch von Ca^{45} in verschiedenen Knochenteilen untersuchte HURWITZ (13) an 16 Monate alten Legehennen, denen einmalig $3 \mu \text{CiCa}^{45}\text{Cl}_2$ i.v. injiziert wurden. Der Ca^{45} -Gehalt bzw. die spezifische Aktivität stiegen in den Femur- und Tibiasegmenten rasch an und erreichten nach 1 - 2 Stunden ihren Höhepunkt, um hernach ständig abzusinken. Nur die spezifische Aktivität im "medullary bone" des Femur erreichte ihren höchsten Wert 2 Stunden später; sie lag außerdem um das Zwei- bis Drei- bzw. Zehnfache höher als in den Enden bzw. der Cortex.

Im Gegensatz zu der weiter oben zitierten Arbeit (17) war eine Angleichung der spezifischen Aktivitäten im "medullary bone" und den Femurenden 2 Tage nach der Ca^{45} -Injektion nicht vorhanden.

Der in-vitro-Austausch von eingebautem Ca^{45} betrug 1 Stunde nach der intravenösen Ca^{45} -Injektion in den Femurenden 7,6, im "medullary bone" 9,8 und in der Cortex 17,5 %; am 4. Tag bestand die gleiche Reihenfolge, jedoch war in allen Segmenten der prozentuale in-vitro- Ca^{45} -Austausch 4 - 7 mal geringer.

Zusammenfassend können aus den Arbeiten von HURWITZ (14,15, 16,17) folgende Befunde hervorgehoben werden:

1. Bei Junghennen tritt zum Zeitpunkt des Legebeginns als Folge einer Ca-Mangelernährung eine signifikante Verarmung im Bereich des "medullary bone" wie bei Legehennen nicht auf.
2. Bezogen auf die Gewichtseinheit Calcium ist der Ca-Umsatz im "medullary bone" des Femur und der Tibia bei Legehennen um das Zwei- bis Drei- bzw. Zehnfache höher als in den Endsegmenten bzw. der Cortex.

Die Ergebnisse von MUELLER und Mitarbeitern (22), die 1964 erstmals quantitative Angaben über den insgesamt im Skelett mobilisierten Ca-Anteil sowie die je Tier und Tag aus dem Knochensystem freigesetzte Ca-Menge veröffentlichten, sind im Zusammenhang mit allen interessierenden methodischen und mathematischen Einzelheiten in der Dissertation von KEHRER (18) ausführlich besprochen worden.

Eine Legehenne besitzt demnach an mobilisierbarem Calcium im Skelett insgesamt 4,4 g. Hiervon werden bei einer 1,95 %igen Ca-Konzentration im Futter täglich etwa 1 g oder 23 % tatsächlich freigesetzt.

E i g e n e U n t e r s u c h u n g e n

III. ARBEITSPLAN

Ein Legehuhn, dessen Ca-Gehalt in Höhe von etwa 15 g zu 98 % im Skelett deponiert ist, scheidet an Legetagen pro Ei etwa 2 g Ca aus. Die Bereitstellung dieser Ca-Menge während der gesamten Legeperiode setzt voraus, daß Calcium in ausreichendem Maße 1. mit der Nahrung zugeführt, 2. im Verdauungstrakt resorbiert, 3. sowohl in das Skelett als auch in die Eischale eingebaut und 4. bei Bedarf zusätzlich aus dem Skelett mobilisiert wird. Die Verwertung von Nahrungscalcium und der Ca-Umsatz im Skelett sind also für Legehennen, wenn von der Mineralisierung in der Schalendrüse abgesehen wird, wichtige Einzelvorgänge innerhalb des Ca-Stoffwechsels. Wie aus den im Kapitel "Literatur" besprochenen Arbeiten hervorgeht, besitzt hierbei das "medullary bone" eine besondere Funktion als schnell verfügbares Ca-Reservoir.

Anhand von Ca-Bilanzen ist der Ca-Stoffwechsel nur summarisch zu erfassen. Die Ca-Verarmung des Skeletts oder einzelner Knochenpartien infolge mangelhafter Ca-Versorgung kann zwar mit chemischen Verfahren festgestellt werden, doch bereitet die getrennte und quantitative Bestimmung der gleichzeitig und schnell ablaufenden und untereinander in dynamischer Wechselbeziehung stehenden Einzelvorgänge des Ca-Stoffwechsels nach wie vor große methodische Schwierigkeiten, die selbst unter Zuhilfenahme radioaktiver Indikatoren nur zum Teil zu überwinden sind.

Umfang und Geschwindigkeit des relativen Calciumumsatzes einzelner Knochen und Knochenteile sind, wie im Kapitel "Literatur" dargestellt, meist nach einmaliger Verabreichung einer Ca^{45} -Indikator-dosis bereits mehrfach bestimmt worden.

Mit Hilfe der von BAUER und Mitarbeitern (1) aufgestellten Beziehung ermittelte HURWITZ (15) die Accretionsrate von Calcium im Femur auch quantitativ, hat jedoch, um die Ca-Mobilisation während der Eischalenbildung auszuschalten, die Legetätigkeit bei seinen Versuchstieren durch Verfütterung höherer Nicarbazin-Dosen blockiert.

Die Resorption von Nahrungscalcium und die Mobilisation von Skelettcalcium an denselben Tieren ist erstmals 1964 von MUELLER und Mitarbeitern (22) bestimmt worden. Das Prinzip dieser Methode besteht darin, zunächst das Nahrungscalcium in radioaktiver Form zu verabreichen und aus dem Verhalten der spezifischen Aktivität des Eischalencalciums die Ca-Austauschvorgänge im Skelett zu verfolgen; in der zweiten, sich unmittelbar daran anschließenden Periode wird die gleiche, jedoch nicht radioaktiv markierte Ration verfüttert, so daß nunmehr die mit der Eischale und den Faeces ausgeschiedene Radiocalciummenge eine Bezugsgröße für das endogene Calcium liefert.

Unter Anwendung dieses Verfahrens soll an ausreichend mit Calcium versorgten Legehennen unterschiedlichen Alters der Umfang an mobilisiertem Skelettcalcium, die Ca-Accretionsrate und der endogene Ca-Anteil im Kot quantitativ bestimmt und gleichzeitig das Verhalten der spezifischen Aktivität in der Kompakta und dem "medullary bone" verfolgt werden. Das zu verfütternde radioaktive Calcium wird dabei in derselben Form verabreicht wie das übrige Calciumsupplement, mit dem eine Ca-arme Grundration auf einen Gesamtcalciumgehalt von 3 % zu bringen ist.

Sowohl in Periode 1 als auch in Periode 2 sollen die Ca-Bilanz, die spezifischen Aktivitäten des Calciums im Futter, im Kot, in den Eischalen und im Skelett als Kriterien dienen, wobei zur Klärung der Frage nach der Beteiligung einzelner Knochen am Ca-Umsatz zu jeweils unterschiedlichen Zeitpunkten Versuchstiere geschlachtet werden müssen.

IV. TIERMATERIAL UND METHODIK

A. Versuchstiere und ihre Haltung

Die Messungen wurden an insgesamt 28 HNL-Legehennen durchgeführt. Die Auswahl aus einer Population von ca. 250 Legehühnern erfolgte nach Alter, Legeleistung und Gewicht. Zu Versuchsbeginn waren die 7 Monate alten Tiere der Versuchsgruppe I im 2. Legemonat. In der Versuchsgruppe II wurden 18 Monate alte Tiere verwendet, die sich im 13. Legemonat befanden.

Die Tiere wurden einzeln in Batterien gehalten. Weitere Daten über die Versuchsanstellung sind aus Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3

Angaben zur Versuchsanordnung

Versuch	Versuchstierzahl	Alter in Monaten	Legemonat	Versuchsdauer in Tagen	Dauer der Versuchsperioden in Tagen		Tägliche Beleuchtungszeit in Stunden
					1	2	
I	14	7	2.	16	8	8	12
II	14	18	13.	20	11	9	20

B. Versuchsablauf

Die Zusammensetzung der Versuchsration, mit der die Tiere 10 Tage vor Beginn der eigentlichen Versuche vorgefüttert wurden, ist in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4

Zusammensetzung der Versuchsration

46,2 %	Mais
18,5 %	Milocorn
9,2 %	Sojaschrot (44 %ig)
9,2 %	Magermilchpulver
2,8 %	Casein
2,8 %	Futterhefe
2,8 %	Luzernegrünmehl
6,3 %	Calciumcarbonat
0,8 %	Natriumtripolyphosphat
0,5 %	Spurenelementmischung S 59
0,5 %	Magnesiumsulfat
0,4 %	Vitamin-Vormischung

100,0 %

Die Vitamin-Vormischung enthielt je Gramm folgende an Weizenbollmehl gebundene Vitaminmengen: 3200 I.E. Vitamin A, 400 I.E. Vitamin D₃, 2 mg Vitamin E, 1,28 mg Vitamin B₂, 1,8 mg Pantothen säure, 0,004 mg Vitamin B₁₂ und 0,8 mg Vitamin K₃.

Analytisch ermittelte Bestandteile der Ration in der ursprünglichen Substanz:

17,60 %	Rohprotein
3,09 %	Rohfett
2,90 %	Rohfaser
3,01 %	Calcium
0,58 %	Phosphor
0,19 %	Natrium
0,83 %	Kalium

Es wurden 2000 Kcal/kg produktive Energie in dieser Ration errechnet. Das Ca:P-Verhältnis betrug 5,2 : 1; Kalium und Natrium verhielten sich wie 4 : 1.

Der gesamte Versuchszeitraum erstreckte sich über zwei Perioden. Periode 1 umfaßte die Zeit vom Beginn der Verfütterung bis zum Absetzen der Ca^{45} -markierten Ration, deren Zusammensetzung sich von den in Tabelle 4 gemachten Angaben nur darin unterscheidet, daß anstelle von inaktivem CaCO_3 Ca^{45} -markiertes Calciumcarbonat ($\text{Ca}^{45}\text{CO}_3$) eingemischt worden ist.

Die spezifische Aktivität des Futters ($\text{SA}_{\text{Futter}}$) betrug in Versuch I 0,86 und in Versuch II 0,7 n $\text{CiCa}^{45}/\text{mg}$ Gesamtcalcium.

Nach Absetzen der Ca^{45} -markierten Ration wurde den Versuchstieren in Periode 2, die der ersten Periode unmittelbar folgte, bis zum Ende des Versuchs wiederum die mit inaktivem Calciumcarbonat supplementierte Ration gereicht. Die Zeitdauer der einzelnen Perioden ist für beide Versuche in Tabelle 3 angegeben.

Futter und Wasser konnten die Versuchstiere ad libitum aufnehmen. Die Bestimmung des Futterverzehrs sowie die Kotentnahme erfolgten in Zeitabständen von 24 Stunden. Der Kot - das über die Kloake ausgeschiedene Exkret der Legehennen, bestehend aus Rectum-, Blinddarmkot und Harn - wurde in auswechselbaren Plastikbehältnissen quantitativ gesammelt. Der Zeitpunkt der Eiablage ist für jedes Tier gesondert in Legelisten vermerkt worden.

Während der Periode 1 wurde im ersten Versuch jeweils nach 6 und 12 Stunden, sowie nach dem 1., 2., 3., 4., 6. und 8. Tag und in Periode 2 dieses Versuchs nach dem 1., 2., 3., 5., 6. und 8. Tag ein Versuchstier getötet.

In Versuch II erfolgte die Tötung je eines Versuchstieres 6 bzw. 12 Stunden, 1, 2, 4, 6, 8 und 11 Tage nach Beginn der Periode 1 sowie am 1., 2., 5., 7., 8. und 9. Tag der Periode 2. Den geschlachteten Tieren wurde der gesamte Verdauungstrakt entnommen und die restlichen Eingeweide gleichfalls entfernt. Nur ein Tier hatte zum Zeitpunkt der Schlachtung im Uterus ein Ei, dessen Schale vollständig verkalkt war. Es ist wie ein bereits abgelegtes Ei behandelt worden. Nach zweistündigem Autoklavieren der Tierkörper wurden sämtliche Knochen herausgelöst und gekennzeichnet.

C. Aufbereitung der Proben

1. Kot

Der täglich angefallene Kot wurde naß homogenisiert, im Umlauftrockner 18 Stunden bei 70° C getrocknet, nach dem Abkühlen gewogen und feinpulverig gemahlen. Jeweils 0,5 g dieser Kotsubstanz wurden in einen 100 ml Kjeldahlkolben überführt, nach Zugabe von 100 ml eines Oxydationsgemisches, bestehend aus 30 % konzentrierter Schwefelsäure, 40 % Perchlorsäure 70 - 72 %ig und 30 % aqua dest. bis zur Farblosigkeit naß verascht, und die aufgeschlossene Probe auf ein Volumen von 100 ml mit aqua dest. aufgefüllt.

2. Eischalen

Die Schalen der angefallenen, gekennzeichneten Eier, deren Inhalt verworfen wurde, sind gewaschen und anschließend getrocknet worden; nach Bestimmung ihres Trockengewichtes wurden die Schalen in einem Mörser pulverisiert. Zur Einwaage gelangten jeweils 0,2 g Eischalentrockensubstanz, die mit 10,0 ml des oben angegebenen Oxydationsgemisches naß verascht worden sind. Mit aqua dest. wurde der Ascheaufschluß auf ein Volumen von 200 ml gebracht.

3. Knochen

Die von anhaftenden Muskel- und Sehnenresten gesäuberten Knochen der Extremitäten wurden einzeln, die des Restskeletts zusammen in Porzellantiegeln bei 600°C verascht. Die Knochenasche wurde in 1 n HCl gelöst und anschließend mit aqua dest. auf verschiedene Volumina aufgefüllt.

"Medullary bone" wurde durch Ausschaben des in der Medianebene geteilten Knochens erhalten. Sowohl von "medullary bone" als auch von der Kompakta wurden jeweils etwa 100 mg eingewogen und wie oben beschrieben naß verascht.

4. Verdauungstrakt

Kropf, Magen und Darm wurden bei 600°C im Muffelofen verascht, die Asche in 1 n HCl gelöst und zu einem Endvolumen von 200 ml mit aqua dest. ergänzt.

D. Analytik

1. Chemische Ca-Bestimmung

Der Gesamt-Ca-Gehalt der Aschelösungen wurde flammenphotometrisch mit dem Flammenphotometer "Eppendorf" bestimmt. Werte von Eichlösungen, die bei bekannten Ca-Konzentrationen den gleichen Säureanteil aufwiesen wie die gemessenen Proben, gaben hierbei die Bezugsbasis.

2. Messung der Ca^{45} -Aktivität

Nach einem von ERDTMANN und HERRMANN (10) erarbeiteten Verfahren sind jeweils 10 ml der Aschelösungen zu 9 g Gel-Scintillator pipettiert und mittels eines Vibromixers in eine stabile Emulsion gebracht worden. Die 0,25 MeV-Beta-Strahlung des in den Proben enthaltenen Ca^{45} wurde mit

Hilfe eines Tri-Carb-Scintillationsspektrometers (Mod.4312 Fa. Packard) bei einer Verstärkung von 7,5 % und einer Fenstereinstellung der einzelnen Meßkanäle von 50-1000, 200-1000 bzw. 600-1000 Teilstrichen gemessen. Ein externes Radiumstandardpräparat sowie das Impulsratenverhältnis der einzelnen Meßkanäle dienten zur Kontrolle eventueller Löscheffekte.

Sämtliche Werte wurden auf einen Ca^{45} -Standard bezogen, der aus einer Ca^{45} -Lösung bekannter Aktivität in derselben Weise hergestellt worden ist wie die Meßpräparate.

E. Statistische Auswertung der Meßergebnisse

Nachdem aus den Meßdaten für die einzelnen Kriterien Mittelwerte ($\bar{x}$) und ihre Standardabweichungen (s) berechnet worden sind, erfolgte die Signifikanzprüfung von Differenzen zwischen den jeweiligen Gruppenmitteln nach dem t-Test.

V. ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Versuche werden unterteilt in einzelne Abschnitte nachstehend dargestellt.

A. Mobilisation und Exkretion von inaktivem Depotcalcium

Die Berechnung des in Periode 1 aus dem Knochensystem mobilisierten, exkretierten, inaktiven Calciums aus den gemessenen spezifischen Aktivitäten des Calciums im Futter (SA_{Futter}), im Kot (SA_{Kot}) und in den Eischalen (SA_{Schale}) erfolgte auf Grund folgender Überlegung: Da im Körper der Versuchstiere vor Beginn der Periode 1 kein Radiocalcium vorhanden war, ist jede Verkleinerung von SA_{Schale} bzw. SA_{Kot} gegenüber SA_{Futter} auf nichtaktives, aus dem Skelett mobilisiertes Calcium zurückzuführen.

Beispiel:

SA_{Futter}	in Versuch II	$0,7 \text{ nCiCa}^{45}/\text{mgCa} = 100$
SA_{Schale}	in Versuch II (von Tier Nr.13 am 3.Tag der Periode 1)	$0,6 \text{ nCiCa}^{45}/\text{mgCa} = 86$
Differenz = Anteil an nichtmarkiertem Skelettcalcium in Prozent des gesamten Eischalen- calciums		= 14

Der Ca-Gehalt dieser Eischale betrug insgesamt 2,19 g; folglich stammten 14 % von 2,19 = 0,32 g Ca aus dem nichtmarkierten Calcium-Depot. Entsprechendes gilt für die Ermittlung des mit dem Kot ausgeschiedenen, nichtmarkierten Skelett-Calciums.

In beiden Versuchen wurde die innerhalb der ersten 8 Tage der Periode I aus dem Skelett mobilisierte, nichtmarkierte Ca-Menge bestimmt, die mit den Eischalen bzw. den Faeces zur Exkretion kam.

Aus den in Tabelle 5 zusammengestellten Ergebnissen geht hervor, daß vom 1. bis zum 8. Tag pro Tier durchschnittlich in Versuch I $3,50 \pm 0,52$ g und in Versuch II $4,93 \pm 0,84$ g nichtmarkiertes, aus dem Skelett stammendes Calcium ausgeschieden worden sind, wobei der mit den Eischalen exkretierte Anteil $1,95 \pm 0,37$ bzw. $2,14 \pm 0,62$ g Ca betrug.

Da aus technischen Gründen das Gleichgewicht zwischen SA_{Futter} und SA_{Schale} nicht abgewartet worden ist, handelt es sich bei den hier gemachten Angaben lediglich um einen Näherungswert, der sich auf inaktives Depotcalcium beschränkt, um auf diese Weise den Umfang der mobilisierbaren Ca-Fraktion im Skelett abzuschätzen.

Tabelle 5

Innerhalb von 8 Tagen in Periode I mobilisiertes und exkretiertes inaktives Depot-Calcium bei Legehennen

	Durchschnittlich pro Tier vom 1.-8. Tag mobilisiertes, inaktives Depot-Calcium in g					
	exkretiert mit den					
	Faeces		Eischalen		Faeces u. Eischalen	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Versuch I Legehennen im 2. Legemonat	$1,47 \pm 0,33$		$1,95 \pm 0,37$		$3,50 \pm 0,52$	
Versuch II Legehennen im 13. Legemonat	$2,79 \pm 0,90$		$2,14 \pm 0,62$		$4,93 \pm 0,84$	

B. Mobilisation und Exkretion von Skelettcalcium in Periode 2

In diesem Kapitel wird die an mehreren Tagen der Periode 2 bestimmte tatsächliche Ca-Mobilisationsrate, die sich durchschnittlich bei der vorgegebenen Ration an Legetagen pro Tier und 24 Stunden ergeben hat, mitgeteilt.

Da die Versuchsration in Periode 2 kein Radiocalcium enthielt, stammt der Ca^{45} -Gehalt der in diesem Zeitraum angefallenen Eier bzw. Faeces aus dem Skelett. Als Maß der spezifischen Aktivität des aus dem Skelett mobilisierten Calciums wurde die spezifische Aktivität im "medullary bone" ($\text{SA}_{\text{medullary bone}}$) herangezogen.

Die durchschnittlich pro Tier und Tag insgesamt aus dem Skelett mobilisierte und mit den Schalen bzw. den Faeces exkretierte Ca-Menge ist für jeweils 6 in Periode 2 geschlachtete Tiere nach folgender Formel ermittelt worden:

$$\text{Ca}_{\text{mobil.}} = \frac{\text{SA}_{\text{Schale}} \times \text{Ca-Gehalt Schale}}{\text{SA}_{\text{medullary bone}}} + \frac{\text{SA}_{\text{Kot}} \times \text{Ca-Gehalt Kot}}{\text{SA}_{\text{medullary bone}}}$$

Für das am 2. Tag der Periode 2 in Versuch I nach der Eiablage geschlachtete Tier ergaben sich beispielsweise folgende Werte:

$\text{SA}_{\text{medullary bone}}$	=	0,36 nCiCa ⁴⁵ /mgCa
$\text{SA}_{\text{Schale}}$	=	0,14 nCiCa ⁴⁵ /mgCa
SA_{Kot}	=	0,03 nCiCa ⁴⁵ /mgCa
Ca-Gehalt Schale	=	1,72 g
Ca-Gehalt Kot	=	1,54 g

Nach der oben angegebenen Beziehung errechnet sich aus diesen Werten eine Ca-Mobilisationsrate für dieses Tier von insgesamt 812 mg Ca/24 Std.

Die auf diese Weise bestimmte Ca-Menge, die im Zeitraum von 24 Stunden aus dem Skelett mobilisiert ($\text{Ca}_{\text{mobil.}}$) und in die Eischale eingebaut ($\text{Ca}_{\text{mobil.Schale}}$) bzw. mit dem Kot exkretiert wurde ($\text{Ca}_{\text{mobil.Kot}}$), ist in Tabelle 6 aufgeführt.

Hiernach beträgt $\text{Ca}_{\text{mobil.Schale}}$ in Versuch I durchschnittlich $35,1 \pm 5,1$ % und in Versuch II $29,1 \pm 2,4$ % des Ca-Gehalts der Schale. Die Differenz zwischen diesen beiden Mittelwerten läßt sich statistisch nicht sichern. Die absolute Menge an $\text{Ca}_{\text{mobil.Schale}}$ hat in den beiden Versuchen 687 ± 69 bzw. 596 ± 11 mg Ca ergeben; auch dieser Unterschied ist nicht signifikant. Hingegen sind die absoluten Mengen an $\text{Ca}_{\text{mobil.Kot}}$, die in 24 Stunden den Betrag von durchschnittlich 124 ± 15 mg in Versuch I und 81 ± 12 mg Ca in Versuch II erreichen mit $p < 5$ % signifikant unterschiedlich.

$\text{Ca}_{\text{mobil.}}$, das sich aus der Summe von $\text{Ca}_{\text{mobil.Schale}}$ und $\text{Ca}_{\text{mobil.Kot}}$ ergibt, betrug pro 24 Stunden bei den Hennen im 2. Legemonat 812 ± 58 mg, bei den Hennen im 13. Legemonat 676 ± 15 mg Ca. Die Differenz in Höhe von 136 mg Ca zwischen diesen beiden Gruppenmittelwerten ist mit $p < 5$ % gesichert.

Tabelle 6

Täglich aus dem Skelett mobilisiertes und über Eischale
bzw. Kot exkretiertes Calcium

	VERSUCH I	VERSUCH II
	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s
Ca _{mobil} .Schale in mg/Eischale	687 ± 69	596 ± 11
Ca _{mobil} .Schale in % d. Ca-Gehaltes d. Schale	35,1 ± 5,1	29,1 ± 2,4
Ca _{mobil} .Kot in mg/24 Std.	124 ± 15	81 ± 12
Ca _{mobil} .Kot in % d. Kot-Ca-Gehaltes	8,7 ± 2,0	6,0 ± 1,2
Ca _{mobil} .Schale + Ca _{mobil} .Kot in mg/24 Std.	812 ± 58	676 ± 15

C. Die Einbaurate von Calcium in das Skelett
bei Legehennen

Die tägliche Einbaurate von Calcium in das Skelett (Accretionsrate) läßt sich aus der Calciumbilanz und Ca_{mobil}. berechnen. Bei ausgeglichener Ca-Bilanz sind Ca-Mobilisations- und Accretionsrate gleich groß. Bei positiver Ca-Bilanz ist die Accretionsrate um den Betrag des Ca-Überschusses gegenüber Ca_{mobil}. erhöht und bei negativer Ca-Bilanz um den Betrag des Ca-Defizits vermindert.

Werden beispielsweise von einem Versuchstier in 24 Stunden mit der Nahrung 3,49 g Ca aufgenommen und mit Schale und Kot 3,42 g wieder ausgeschieden, so ist die Ca-Bilanz mit 0,07 g positiv. Für den gleichen Zeitraum wurde berechnet, daß die aus dem Skelett mobilisierte Ca-Menge 0,65 g beträgt. Die Accretionsrate erreicht demnach einen 24-Stunden-Wert von $0,65 + 0,07$ g Ca. In nachstehender Tabelle sind die Ca-Bilanzen sowie die Ca-Mobilisations- und -Accretionsraten der in Periode 2 getöteten Tiere zusammengefaßt worden.

Tabelle 7

Durchschnittlich pro Tier und Tag in das Skelett
eingebaute Ca-Menge bei Legehennen

	VERSUCH I		VERSUCH II	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Ca-Einnahme g/24 h	$3,78 \pm 0,20$		$3,42 \pm 0,27$	
Ca-Ausscheidung Kot + Schale g/24 h	$3,46 \pm 0,21$		$3,35 \pm 0,32$	
Ca-Bilanz g/24 h	$+ 0,32 \pm 0,14$		$+ 0,07 \pm 0,10$	
$Ca_{\text{mobil. Schale}} + Ca_{\text{mobil. Kot}}$ g/24 h	$0,81 \pm 0,06$		$0,68 \pm 0,02$	
In das Skelett eingebautes Ca g/24 h	$1,13 \pm 0,15$		$0,75 \pm 0,13$	

Aus Tabelle 7 ist zu ersehen, daß die Ca-Bilanz der Tiere aus Versuch I und Versuch II mit einem durchschnittlichen Betrag von 0,32 g Ca bzw. 0,07 g Ca positiv ist. Hennen im 2. Legemonat bauten in 24 Stunden $1,13 \pm 0,15$ g Ca in das Skelett ein. Dieser Betrag ist mit $p < 5 \%$ signifikant größer als der bei älteren Hennen des Versuchs II, bei denen die Accretionsrate durchschnittlich nur $0,75 \pm 0,13$ g Ca beträgt.

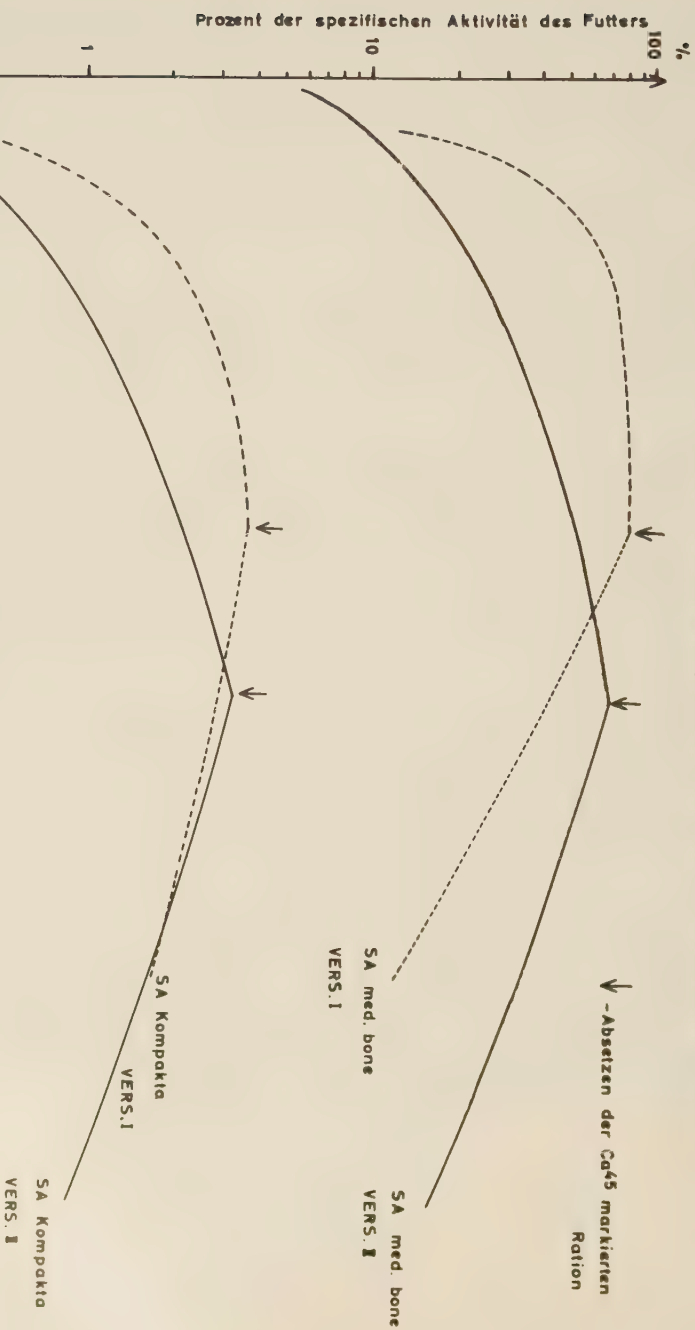
D. Zum Verhalten der spezifischen Aktivität des Calciums in "medullary bone" und Kompakta

Von den in Periode 1 und 2 geschlachteten Tieren ist jeweils aus dem Femur und der Tibia die spezifische Aktivität des Calciums im "medullary bone" sowie in der Kompakta des Schafts bestimmt worden. Da sich zwischen Femur und Tibia für beide Größen keine signifikanten Unterschiede ergaben, sind $SA_{\text{medullary bone}}$ sowie SA_{Kompakta} als Mittelwerte aus Femur und Tibia auf SA_{Futter} bezogen und in Abbildung 1 dargestellt worden.

Der Verlauf der im einfach-logarithmischen Koordinatensystem gegen die Zeit aufgetragenen spezifischen Aktivitäten läßt erkennen, daß $SA_{\text{medullary bone}}$ in Periode 1 Versuch I rascher ansteigt als in Versuch II. Innerhalb von 4 Tagen steigt $SA_{\text{medullary bone}}$ in Versuch I sehr schnell auf 75 % von SA_{Futter} und erhöht sich bis zum 8. Versuchstag nur langsam auf 85 %. Dagegen beträgt $SA_{\text{medullary bone}}$ in Versuch II am 4. Tag erst 25 % von SA_{Futter} und erreicht bis zum 8. bzw. 11. Tag weiterhin fast im selben Maße ansteigend etwa 60 % bzw. 70 %.

Abb.1

Verlauf der spezifischen Aktivität im „medullary bone“ u.in der Kompakta während und nach Verfütterung einer mit Ca^{45} markierten Ration



Nach Absetzen der Ca^{45} -markierten Ration fällt $\text{SA}_{\text{medullary bone}}$ in beiden Versuchen mit der Zeit annähernd einfach-exponentiell ab, wiederum in Versuch I schneller als in Versuch II.

$\text{SA}_{\text{Kompakta}}$ liegt im Vergleich zu $\text{SA}_{\text{medullary bone}}$ wesentlich niedriger. $\text{SA}_{\text{Kompakta}}$ erreicht bis zum Absetzen der Ca^{45} -markierten Ration in Versuch I 3,9 % und in Versuch II bei einer um 3 Tage längeren Ca^{45} -Verabreichung 3,5 % von $\text{SA}_{\text{Futter}}$. Auch der Anstieg von $\text{SA}_{\text{Kompakta}}$ in Periode 1 erfolgt bei den Tieren des Versuchs I schneller als bei den älteren Legehennen.

E. Umfang des im "medullary bone" vorhandenen Calciums

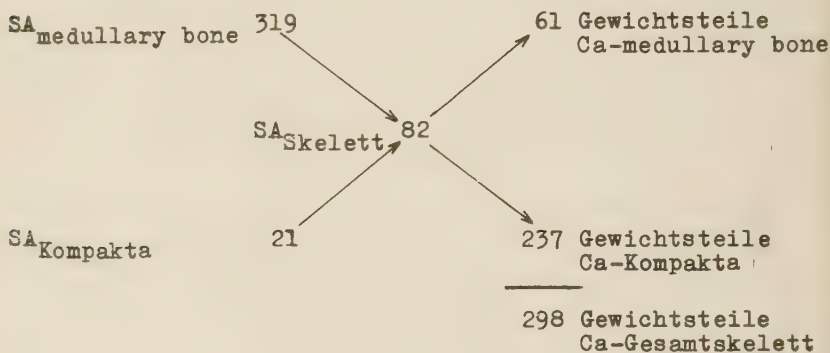
Um die im "medullary bone" insgesamt enthaltene Ca-Menge abzuschätzen, wird von der Modellvorstellung ausgegangen, daß $\text{SA}_{\text{Skelett}}$ eine Resultante aus $\text{SA}_{\text{medullary bone}}$ und $\text{SA}_{\text{Kompakta}}$ darstellt; ferner, daß $\text{SA}_{\text{medullary bone}}$ bzw. $\text{SA}_{\text{Kompakta}}$ in allen Knochen zur selben Zeit dieselbe Größe besitzen. Aus den gemessenen spezifischen Aktivitäten im Gesamtskelett, im "medullary bone" und in der Kompakta sowie aus dem ebenfalls analytisch ermittelten Ca-Gesamtgehalt des Skeletts läßt sich dann der Umfang des im "medullary bone" vorhandenen Calciums mit Hilfe eines Verdünnungskreuzes berechnen.

Beispiel:

Für Tier Nr. 262 wurden im Versuch I am 3. Tag der Periode 2 folgende Daten analytisch bestimmt:

SA _{Skelett}	=	82 pCiCa ⁴⁵ /mg Ca
SA _{medullary bone}	=	319 pCiCa ⁴⁵ /mg Ca
SA _{Kompakta}	=	21 pCiCa ⁴⁵ /mg Ca
Ca-Gehalt des Skeletts = 14500 mg		

Hieraus ist die im "medullary bone" enthaltene Ca-Menge wie folgt zu berechnen:



298 Gewichtsteile entsprechen 14500 mg Ca; dann entsprechen 61 Gewichtsteile $\frac{14500 \times 61}{298} = 2968$ mg Ca.

Die im "medullary bone" vorhandene Ca-Menge betrug demnach bei dem als Beispiel herausgegriffenen Tier Nr. 262 in Versuch I insgesamt 2,97 g Ca.

In derselben Weise wurden für jeweils 10 Tiere beider Versuche die insgesamt im "medullary bone" vorhandenen Ca-Mengen berechnet und in Tabelle 8 den analytisch bestimmten Ca-Werten des Gesamtskeletts gegenübergestellt.

Tabelle 8

Umfang der im Gesamtskelett und im "medullary bone"
vorhandenen Ca-Menge

	VERSUCH I	VERSUCH II
	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s
Ca-Menge im Gesamtskelett in g	14,18 $\pm$ 0,71	17,24 $\pm$ 1,41
Ca-Menge im "medullary bone" in g	3,04 $\pm$ 0,51	4,80 $\pm$ 0,72
Ca-Menge im "medullary bone" in % des Skelett-Ca	21,1 $\pm$ 5,7	28,1 $\pm$ 4,8

Mit 3,04 $\pm$ 0,51 g liegt der Ca-Gehalt des "medullary bone" der 7 Monate alten Legehennen des Versuchs I deutlich unter der Ca-Menge von 4,80 $\pm$ 0,72 g im "medullary bone" der 18 Monate alten Legehennen des Versuchs II. Die Differenz zwischen beiden Mittelwerten läßt sich mit $p < 5\%$ sichern. Die für "medullary bone" errechnete Ca-Menge beträgt 21,1 $\pm$ 5,7 % (Versuch I) bzw. 28,1 $\pm$ 4,8 % (Versuch II) des Ca-Gehalts im gesamten Skelett.

Der Ca-Gehalt des "medullary bone" und der Kompakta in Femur und Tibia wurde bei Legehennen des Versuchs II ebenfalls in der oben erläuterten Weise berechnet. Die durch-

schnittlichen Ca-Gehaltsdaten der Gesamtknochen, des "medullary bone" und der Kompakta sind für Femur und Tibia in Tabelle 9 angegeben.

Tabelle 9

Durchschnittlicher Ca-Gehalt von "medullary bone"
und Kompakta in Femur und Tibia

	Ca-Gehalt Gesamtknochen mg	Ca-Gehalt Kompakta mg	Ca-Gehalt "med.bone" mg	Ca-Gehalt "med.bone" in % d. Ca Gesamtknochen
Femur	993 $\pm$ 118	586 $\pm$ 100	414 $\pm$ 71	41,4 $\pm$ 6,5
Tibia	1165 $\pm$ 150	839 $\pm$ 107	327 $\pm$ 59	28,0 $\pm$ 3,1

Aus der obigen Tabelle geht hervor, daß sich im "medullary bone" des Femur 41,4 $\pm$ 6,5 % seines gesamten Calciums befinden. Der Anteil des "medullary bone" am Ca-Gehalt der Tibia beträgt 28,0 $\pm$ 3,1 %.

Der prozentuale Ca-Anteil des "medullary bone" am Gesamt-Ca-Gehalt ist mit ca. 28 % in der Tibia ebenso hoch wie im Gesamtskelett (siehe Tabelle 8).

In Tabelle 10 sind die bereits in Abschnitt B dieses Kapitels mitgeteilten Werte von $\text{Ca}_{\text{mobil.Schale}}$ in Beziehung zum Ca-Gehalt des "medullary bone" gebracht worden. Daraus geht hervor, daß $\text{Ca}_{\text{mobil.Schale}}$ bei den Hennen im 2. Legemonat durchschnittlich 21,5 $\pm$ 2,8 % der im "medullary bone" vorhandenen Ca-Menge gegenüber nur 11,7 $\pm$ 1,6 % bei den älteren Legehennen in Versuch II beträgt. Unter Berücksichtigung von $\text{Ca}_{\text{mobil.Kot}}$ erhöht sich der Prozentsatz von $\text{Ca}_{\text{mobil.}}$ am Ca-Gehalt des "medullary bone" auf 25,5 % im Versuch I bzw. auf 13,3 % in Versuch II. Bezogen auf die Ca-Menge im Gesamtskelett beträgt $\text{Ca}_{\text{mobil.}}$ in Versuch I 5,56 $\pm$ 0,32 und in Versuch II 4,03 $\pm$ 0,34 Prozent.

Tabelle 10

Pro Tier und Tag aus dem Skelett mobilisiertes Calcium
in Prozent der im Gesamtskelett bzw. im "medullary bone"
vorhandenen Ca-Menge

	VERSUCH I	VERSUCH II
	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s
Ca-Gehalt des "medullary bone" in g	3,22 $\pm$ 0,34	5,16 $\pm$ 0,68
Ca _{mobil} .Schale in g/Schale	0,687 $\pm$ 0,069	0,596 $\pm$ 0,011
Ca _{mobil} .Schale in % d. Ca-Gehaltes "medullary bone"	21,5 $\pm$ 2,8	11,7 $\pm$ 1,6
Ca _{mobil} .Schale + Ca _{mobil} .Kot in g/24 h	0,812 $\pm$ 0,06	0,676 $\pm$ 0,015
Ca _{mobil} .Schale + Ca _{mobil} .Kot in % d. Ca-Gehaltes "medullary bone"	25,5 $\pm$ 3,1	13,3 $\pm$ 2,0
Ca _{mobil} .Schale + Ca _{mobil} .Kot in % d. Ca-Gehaltes Gesamtskelett	5,56 $\pm$ 0,32	4,03 $\pm$ 0,34

$\bar{x}$ = Gruppenmittel der in
Periode 2 getöteten Tiere

s = Standardabweichung

Die zwischen den Mittelwerten beider Gruppen bestehenden Differenzen hinsichtlich des prozentualen Anteils von $\text{Ca}_{\text{mobil.}}$ und $\text{Ca}_{\text{mobil. Schale}}$ am Ca-Gehalt des "medullary bone" bzw. des Gesamtskeletts sind mit $p < 1\%$ statistisch gut zu sichern.

F. Der Radiocalciumgehalt einzelner Knochen in Relation zur Ca^{45} -Aktivität des Gesamtskeletts

Der Radiocalciumgehalt verschiedener Extremitätenknochen ist bei Legehennen aus Versuch II, die jeweils zu verschiedenen Zeitpunkten während der 1. und 2. Periode zur Schlachtung kamen, einzeln bestimmt worden. Der Ca^{45} -Gehalt der Einzelknochen wurde in Prozent der Ca^{45} -Aktivität des Gesamtskeletts ausgedrückt und die so erhaltenen Werte in Tabelle 11 zusammengestellt.

Tabelle 11

Ca^{45} -Gehalt einzelner Knochen in Prozent der Ca^{45} -Aktivität des Gesamtskeletts bei Legehennen im 13. Legemonat

	Durchschnittswerte aller geschlachteten Tiere	
	in Periode 1	in Periode 2
Femur	$10,3 \pm 0,6$	$8,0 \pm 1,4$
Tibia	$7,9 \pm 0,6$	$6,4 \pm 0,6$
Metatarsus	$2,6 \pm 0,6$	$3,5 \pm 1,3$
Humerus	$1,3 \pm 0,6$	$1,6 \pm 0,4$
Ulna + Radius + Metacarpus	$4,9 \pm 1,0$	$4,4 \pm 0,2$
Restskelett	$46,0 \pm 2,9$	$52,2 \pm 4,5$
Gesamtskelett	100	100

Wie aus Tabelle 11 hervorgeht, ist die Verteilung des Radiocalciums erwartungsgemäß recht unterschiedlich. Von der Ca^{45} -Aktivität im Gesamtskelett entfielen in Periode 1 auf beide Femora und Tibiae zusammengenommen 36,4 %, auf alle in Tabelle 11 aufgeführten Extremitäten-Knochenpaare zusammen 54,2 %.

In Periode 2 liegt der prozentuale Anteil einzelner Knochen an der Ca^{45} -Aktivität des Gesamtskeletts in der gleichen Größenordnung; es besteht jedoch eine Tendenz dahingehend, daß im Femur sowie in der Tibia der relative Ca^{45} -Gehalt fällt, im Metatarsus und im Humerus dagegen ansteigt. Die Differenzen zwischen den in Periode 1 und 2 ermittelten relativen Ca^{45} -Gehalten gleichnamiger Knochen sind nicht signifikant, wenn die Durchschnittswerte aller in der jeweiligen Periode geschlachteten Tiere zugrunde gelegt werden. Vergleicht man jedoch die prozentualen Ca^{45} -Gehalte einzelner Knochen der in Periode 1 zuerst geschlachteten 4 Tiere mit denen der in Periode 2 zuletzt getöteten 4 Tiere, so läßt sich die relative Aktivitätsverringering in Femur und Tibia bzw. der relative Aktivitätsanstieg im Humerus und Metatarsus mit $p < 5 \%$ statistisch sichern.

G. Die endogene Ca-Fraktion in den Faeces und der Ca-Resorptionskoeffizient

Die aus der Nahrung resorbierte Ca-Menge ist bei den Tieren beider Versuchsgruppen in Periode 2 auf Grund folgender Beziehung ermittelt worden:

$$r = a - (b - c)$$

- wobei r = resorbiertes Calcium (g/Tier und Tag)
 a = Ca-Einnahme (g/Tier und Tag)
 b = Ca-Ausscheidung im Kot (g/Tier und Tag)
 c = endogene Ca-Fraktion im Kot (g/Tier und Tag)

sind.

Wie aus der obigen Beziehung hervorgeht, muß zur Bestimmung von r außer a und b auch die absolute Menge an endogenem Calcium im Kot (c) bekannt sein. Diese Größe war in Periode 2, in der das Nahrungscalcium nicht wie in Periode 1 radioaktiv markiert war, nach dem Prinzip der Isotopenverdünnung über folgende Beziehung zu bestimmen:

$$c = b \times \frac{SA_{\text{Kot}} \text{ im Zeitabschnitt } t}{SA_{\text{Schale}} \text{ im Zeitabschnitt } t}$$

Die Durchschnittswerte der pro Tier an Legetagen ermittelten Ca-Bilanz-Daten sind zusammen mit den Angaben über die Höhe des endogenen Kotcalciums und des Ca-Resorptionskoeffizienten in Tabelle 12 zusammengefaßt.

Wie daraus zu ersehen ist, wurden von den im 2. Legemonat befindlichen Hennen des ersten Versuchs an Legetagen durchschnittlich $3,89 \pm 0,23$ g Ca mit der Nahrung aufgenommen, wovon $62,0 \pm 6,0$ % retiniert worden sind; tatsächlich resorbiert wurden $2,73 \pm 0,25$ g Ca oder $70,2 \pm 5,9$ % des Nahrungscalciums. Die Hennen im 13. Legemonat (Versuch II) nahmen $3,34 \pm 0,41$ g Nahrungscalcium auf. Die Retention betrug $60,2 \pm 6,1$ % und die Resorption $68,2 \pm 6,5$ % des aufgenommenen Calciums.

Die Unterschiede in der Retention und Resorption von Calcium zwischen den Tiergruppen der beiden Versuche konnte statistisch nicht gesichert werden.

Tabelle 12

Durchschnittliche Aufnahme, Exkretion, Retention
und Resorption von Ca bei Legehennen an Tagen
mit Eiablage

	VERSUCH I Legehennen im 2. Legemonat	VERSUCH II Legehennen im 13. Legemonat
	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s
a = Ca-Einnahme in g	3,89 $\pm$ 0,23	3,34 $\pm$ 0,41
b = Ca-Exkretion Kot in g	1,48 $\pm$ 0,27	1,33 $\pm$ 0,28
c = endogenes Kot-Ca in g	0,32 $\pm$ 0,07	0,27 $\pm$ 0,09
$\frac{c}{b} \times 100$ = endog. Kot-Ca in % der Ca-Exkretion	22,0 $\pm$ 5,8	20,6 $\pm$ 5,9
a - b = Ca-Retention in g	2,41 $\pm$ 0,26	2,01 $\pm$ 0,36
$\frac{a - b}{a} \times 100$ = Ca-Retention in % der Ca-Einnahme	62,0 $\pm$ 6,0	60,2 $\pm$ 6,1
a - b + c = Ca-Resorption in g	2,73 $\pm$ 0,25	2,28 $\pm$ 0,33
$\frac{a - b + c}{a} \times 100$ = Ca-Resorption in % der Ca-Einnahme	70,2 $\pm$ 5,9	68,2 $\pm$ 6,5

Der vom resorbierten Calcium sofort wieder resekretierte Anteil ergibt sich aus der endogenen Ca-Fraktion im Kot (c) abzüglich $Ca_{\text{mobil.Kot}}$ (siehe Seite 23). Die nachfolgenden Angaben beziehen sich auf Einzelmessungen an jeweils 6 in Periode 2 geschlachteten Tieren. In Versuch I betrug die Resekretionsrate an Legetagen durchschnittlich 207 ± 60 mg Ca/24 Stunden und in Versuch II 136 ± 16 mg Ca/24 Stunden entsprechend $14,2 \pm 4,8$ % bzw. $10,2 \pm 2,2$ % des gesamten Kotcalciums.

Wählt man das im selben Zeitraum resorbierte Calcium als Bezugsbasis, so erschienen in Versuch I $7,6 \pm 1,8$ % und in Versuch II $6,3 \pm 1,2$ % des resorbierten Calciums innerhalb von 24 Stunden wieder in den Faeces.

H. Angaben über Futterverzehr und Legeleistung der Versuchstiere

Als Ergänzung der in dieser Arbeit mitgeteilten Ergebnisse sind in Tabelle 13 Angaben über Legeleistung und Futterverzehr aufgeführt. Die Legeleistung der Versuchstiere, die sich im 2. Legemonat befanden, erreichte während der 16-tägigen Versuchsdauer 96 %. Bei einem täglichen Futterverzehr von durchschnittlich $122 \pm 15,0$ g verbrauchten die Tiere aus Versuch I für jedes gelegte Ei 124,5 g Futter.

Die Legeleistung der im 13. Legemonat stehenden Tiere aus Versuch II betrug für Periode 1 und 2 dieses Experiments 78,5 %. Im Vergleich zu den jungen Hennen des ersten Versuchs war der Futterverzehr der Tiere in Versuch II mit durchschnittlich $107,9 \pm 17,7$ g pro Tag etwas niedriger. Der Futterverbrauch pro Ei lag wegen der abgesunkenen Legeleistung bei den Tieren in Versuch II mit 132,2 g etwas höher als bei den jüngeren Hennen.

Der durchschnittliche Ca-Gehalt der Schalen aller in Periode 1 und 2 angefallenen Eier betrug in Versuch I $1,94 \pm 0,22$ g und in Versuch II $1,94 \pm 0,25$ g.

Tabelle 13

Legeleistung und Futterverzehr der Versuchstiere
in den Perioden 1 und 2

	Lege- leistung in %	durchschnittl. Futterverzehr pro Tier u. Tag in g	durchschnittl. Futterverbrauch pro Ei in g
VERSUCH I	95,9	$122,0 \pm 15,0$	124,5
VERSUCH II	78,5	$107,9 \pm 17,7$	132,2

VI. DISKUSSION

Die Verwertung von Nahrungscalcium und den Ca-Umsatz im Skelett bei Legehennen quantitativ zu bestimmen, ist nur möglich, wenn entweder die exogene oder die endogene Ca-Fraktion mit einem geeigneten Radioisotop markiert wird und somit einzeln erfaßt werden kann. In Anlehnung an eine erstmals von MUELLER und Mitarbeitern (22) angewandte Methode wurden die Ca-Austauschvorgänge im Skelett und der Ca-Resorptionskoeffizient an jeweils 14 Legehennen im Alter von 7 bzw. 18 Monaten in einem Periodenversuch ermittelt. Die auf einen Gesamt-Ca-Gehalt von 3 % eingestellte Versuchsration enthielt in Periode 1 Ca^{45} -markiertes Calciumcarbonat ($\text{Ca} \cdot \text{CO}_3$) und in Periode 2 die gleiche Menge inaktives CaCO_3 . Von beiden Versuchsgruppen wurden zu verschiedenen Zeitpunkten in Periode 1 und 2 einzelne Tiere geschlachtet und anhand der Ca-Bilanzdaten und des Verhaltens der spezifischen Aktivität des Calciums in den Eischalen, im Kot und im Knochensystem der Umfang der Ca-Mobilisation und das endogene Calcium in den Faeces bestimmt.

A. Zur Mobilisation und Exkretion von Skelettcalcium

In Periode 1 wird das im Skelett der Versuchstiere enthaltene mobilisierbare Calcium allmählich durch Ca^{45} -markiertes, resorbiertes Nahrungscalcium ersetzt. Dieser Vorgang, der nach HURWITZ (13) zum Teil auf einen bloßen Austausch von Ca-Atomen (exchange) und zum Teil auf eine echte Knochenauflösung (resorption) zurückzuführen ist, kann anhand des Anstiegs von $\text{SA}_{\text{Schale}}$ bzw. von $\text{SA}_{\text{medullary bone}}$ und $\text{SA}_{\text{Kompakta}}$ verfolgt werden (Abbildung 1). Sobald das mobilisierbare Skelettcalcium durch radioaktiv markiertes, aus dem Futter stammendes Calcium vollständig ersetzt ist, müssen $\text{SA}_{\text{Futter}}$, $\text{SA}_{\text{Schale}}$ und die spezifische Aktivität

des mobilisierbaren Skelett-Calciums dieselbe Größe aufweisen. Von dieser Überlegung gehen MUELLER und Mitarbeiter (22) auch bei der Bestimmung der mobilisierbaren Ca-Fraktion im Legehennenskelett aus.

In den hier beschriebenen Versuchen ist der Zeitpunkt des Gleichgewichts (equilibrium) zwischen SA_{Futter} und SA_{Schale} nicht abgewartet worden; der Umfang des mobilisierbaren Skelett-Calciums konnte daher nur näherungsweise ermittelt werden, indem die vom 1. bis 8. Tag der Periode 1 exkretierte Menge an mobilisiertem, inaktivem Skelett-Calcium als Summe bestimmt worden ist. In Versuch I betrug diese Größe durchschnittlich $3,50 \pm 0,52$ g und in Versuch II $4,93 \pm 0,84$ g Ca, wobei sich der bestehende Unterschied auf Grund der großen Varianz statistisch nicht sichern ließ.

Auffallend und zunächst auch unerklärlich ist die Tendenz einer erhöhten Exkretion von mobilisiertem, inaktivem Depot-Calcium mit den Faeces in Versuch II. Möglicherweise ist dieser Befund darauf zurückzuführen, daß das Calcium pflanzlichen Ursprungs, das etwa 10 % des Gesamt-Ca-Gehalts der Ration ausmachte, von den älteren Legehennen wesentlich schlechter resorbiert worden ist als das in Form von Calciumcarbonat vorliegende Calcium. Dies würde bedeuten, daß eine der Voraussetzungen zur quantitativen Ermittlung des mobilisierbaren Ca-Depots, nämlich Gleichheit der spezifischen Aktivitäten des Nahrungscalciums und des resorbierten Calciums nicht erfüllt war.

Von größerer praktischer Bedeutung als die ungefähre Kenntnis von der Größenordnung des mobilisierbaren Calciums im Skelett ist jedoch die Ca-Mobilisationsrate ($Ca_{\text{mobil.}}$), d.h. die pro Tier und Tag tatsächlich mobilisierte, mit der

Eischale und den Faeces exkretierte Ca-Menge bei optimaler Ca-Versorgung. $Ca_{mobil.}$ ist an jeweils 6 Tieren, die zu verschiedenen Zeiten in Periode 2 nach der Eiablage geschlachtet worden sind, aus SA_{Schale} , SA_{Kot} , $SA_{medullary\ bone}$ sowie dem Ca-Gehalt der Schale und den Faeces berechnet worden (siehe Seiten 23/24 und Tabelle 6). Hierbei hat sich ergeben, daß die jüngeren Legehennen mit 812 ± 58 mg Ca pro Tier und Tag eine signifikant ($p < 5\%$) höhere Mobilisationsrate aufweisen als die älteren Legehennen, die pro 24 Stunden an Legetagen durchschnittlich 676 ± 15 mg Ca aus dem Skelett mobilisierten. Dies entspricht in Versuch I einem Anteil von 25 bzw. 5 % und in Versuch II von 13 bzw. 4 % der im "medullary bone" bzw. im gesamten Skelett enthaltenen Ca-Menge. Zwischen den Tieren des ersten und zweiten Versuches bestand kein signifikanter Unterschied hinsichtlich des mit der Eischale durchschnittlich ausgeschiedenen, mobilisierten Calciums ($Ca_{mobil.Schale}$). Der Anteil von $Ca_{mobil.Schale}$ am Gesamt-Ca-Gehalt der Schale betrug in Versuch I $35,1 \pm 5,1\%$ und in Versuch II $29,1 \pm 2,4\%$. Diese Angaben sind als Maximalwerte anzusehen, wenn man berücksichtigt, daß für die jeweiligen Versuchstiere $SA_{medullary\ bone}$ erst nach der Eiablage ermittelt und mit SA_{Schale} in Beziehung gesetzt worden ist.

In diesem Zusammenhang erscheint der Unterschied zu dem von MUELLER und Mitarbeitern (22) mitgeteilten Wert noch größer, die eine auf andere Weise errechnete Mobilisationsrate von 1,04 g Ca pro Tier und Tag ermittelten. Diese Angabe bezieht sich jedoch auf einen Versuch an einjährigen Legehennen, deren Ca-Einnahme nur 2,32 g pro Tier und Tag betrug und die demzufolge an Legetagen eine mit - 0,44 g Ca negative Calciumbilanz aufwiesen.

B. Zum Einbau von Calcium in das Skelett

Ebenso wie die Mobilisation von Calcium aus dem Skelett teilweise auf Ca-Austauschvorgänge und teilweise auf echte Knochenauflösung zurückzuführen ist, kann der Einbau von Calcium in das Skelett einmal auf dem Wege des Ca-Austausches und zum anderen durch Neubildung von Knochensubstanz zustande kommen.

Die Accretionsrate von Calcium im Skelett ist aus den Ca-Bilanzdaten und Ca_{mobil} berechnet worden. Erwartungsgemäß war die tägliche Ca-Bilanz bei den Legehennen im 2. Legemonat mit $+ 0,32 \pm 0,14$ g Ca deutlich positiver als bei älteren Legehennen, bei denen sie mit durchschnittlich $+ 0,07 \pm 0,1$ g Ca nahezu ausgeglichen war.

Wenn bei ausgeglichener Ca-Bilanz eine bestimmte Menge an Calcium aus dem Skelett mobilisiert wurde, so bedeutet dies, daß im selben Zeitraum die gleiche Ca-Menge eingebaut worden sein muß. Bei positiver Ca-Bilanz ist die Ca-Accretionsrate daher genau um den Betrag des Ca-Überschusses gegenüber Ca_{mobil} erhöht. Die 7 Monate alten Tiere bauten an Legetagen durchschnittlich $1,13 \pm 0,15$ g Ca/24 Stunden, die älteren Legehennen signifikant weniger, nämlich $0,75 \pm 0,13$ g Ca/24 Stunden in das Skelett ein. Der jeweilige Anteil des Ca-Austauschs bzw. der Knochenauflösung oder -neubildung an der Ca-Mobilisation oder -Accretion ist auf Grund der in dieser Arbeit untersuchten Kriterien nicht anzugeben.

Alle diese Angaben (Tabelle 7) können nur in Zusammenhang mit der jeweiligen Legeleistung, der im Skelett enthaltenen Ca-Menge und den Ca-Bilanzdaten betrachtet werden. Die im Vergleich zu den Tieren des zweiten Versuchs höhere Legeleistung und günstigere Ca-Bilanz der jüngeren, noch

im Wachstum befindlichen Legehennen bedingt eine höhere Ca-Einnahme. Trotzdem ist bei diesen Tieren (Versuch I) der Futterverbrauch pro Ei geringer als bei den älteren Legehennen - ein Befund, der sich mit den praktischen Erfahrungen vollauf deckt.

C. Zur spezifischen Aktivität des "medullary bone" und der darin enthaltenen Ca-Menge

Betrachtet man den Verlauf der in Abbildung 1 wiedergegebenen $SA_{\text{medullary bone}}$ und SA_{Kompakta} von Femur und Tibia, so fällt hierbei der erheblich flachere Anstieg der spezifischen Aktivitäten in Periode 1 bei den älteren Tieren (Versuch II) auf. Dies wird verständlich, wenn man die jeweilige Ca-Accretionsrate sowie die im "medullary bone" enthaltene Ca-Menge in Versuch I und II miteinander vergleicht (Tabellen 7 u. 8): Die älteren Legehennen weisen bei einer niedrigeren Ca-Accretionsrate eine größere Menge an Calcium im "medullary bone" auf als die jüngeren Tiere; daher steigt $SA_{\text{medullary bone}}$ bei den älteren Tieren langsamer an. Auch bei den 7 Monate alten Legehennen (Versuch I) ist das im "medullary bone" enthaltene Calcium nach 8-tägiger Fütterung der Ca^{45} -markierten Ration noch nicht vollständig durch radioaktiv markiertes, resorbiertes Nahrungscalcium ersetzt worden, was aus dem Vergleich von $SA_{\text{medullary bone}}$ und SA_{Futter} hervorgeht. In Anbetracht der hohen Ca-Accretionsrate bzw. der positiven Ca-Bilanz bei den Tieren des ersten Versuchs deutet dies darauf hin, daß das Calcium im "medullary bone" nicht ausschließlich aus der Nahrung stammt, sondern teilweise über die Kompakta dorthin gelangt.

Gute Übereinstimmung mit den Befunden von HURWITZ (13) zeigt das Verhältnis zwischen $SA_{\text{medullary bone}}$ und SA_{Kompakta} ; letztere ist um das Zehn- bis Fünfzehnfache geringer als $SA_{\text{medullary bone}}$.

Der Anteil des "medullary bone" am Gesamtskelett ist bislang nur auf der Basis der fettfreien Trockensubstanz bestimmt worden, wobei das "medullary bone" durch Ausschaben aus den Markhöhlenräumen gewonnen wurde. HURWITZ (15) hat bei seinen Untersuchungen über den Ca-Umsatz einzelner Knochenabschnitte Tibia und Femur in 3 funktionelle Segmente unterteilt, nämlich in die Enden, in "medullary bone" und Cortex des Schaftes. Da sich auch in den Enden "medullary bone" befindet, die spezifische Aktivität der Enden zwischen der von SA_{Cortex} und $SA_{\text{medullary bone}}$ lag (13,15), erschien es uns gerechtfertigt, SA_{Skelett} im Modell als Resultante aus $SA_{\text{medullary bone}}$ und SA_{Kompakta} aufzufassen. Weiterhin ist bei der Berechnung des im "medullary bone" enthaltenen Calciums davon ausgegangen worden, daß $SA_{\text{medullary bone}}$ bzw. SA_{Kompakta} in allen Knochen zur selben Zeit dieselbe Größe aufweisen - eine Annahme, deren Gültigkeit experimentell nur für die Röhrenknochen der Extremitäten nachgewiesen wurde, jedoch auf das Gesamtskelett ausgedehnt worden ist, weil Kompakta und "medullary bone" als jeweils funktionell einheitliche Systeme angesehen werden.

Die unter diesen Vorbehalten berechnete absolute Ca-Menge im "medullary bone" war bei den älteren Legehennen mit $4,80 \pm 0,72$ g Ca signifikant höher als bei den jüngeren Tieren, für die $3,04 \pm 0,51$ g Ca ermittelt wurden; hingegen unterschied sich der auf die Ca-Menge des Gesamtskeletts bezogene Ca-Anteil im "medullary bone" mit $21,1 \pm 5,7$ % (Versuch I) bzw. $28,1 \pm 4,8$ % (Versuch II) nicht signifikant zwischen beiden Gruppen; er war jedoch etwa doppelt so hoch wie der von TAYLOR und MOORE auf der Basis fettfreier Trockensubstanz angegebene prozentuale Anteil "medullary bone" am Gesamtskelett.

Diese Diskrepanz läßt sich nur zum Teil auf die etwas höhere Ca-Konzentration im "medullary bone" zurückführen. Wahrscheinlich konnte das "medullary bone" durch Ausschaben der Markhöhlenräume nicht quantitativ erfaßt werden.

Praktische Bedeutung besitzen die in Tabelle 10 zusammengestellten Angaben: Bei einer Konzentration von 3 % Ca im Futter betrug die mit der Eischale durchschnittlich ausgeschiedene, mobilisierte Ca-Menge ($\text{Ca}_{\text{mobil. Schale}}$) bei den jüngeren Legehennen etwa 20 % und bei älteren Tieren 10 % des im "medullary bone" vorhandenen Calciums. Bei ungenügender Ca-Zufuhr würde sich $\text{Ca}_{\text{mobil. Schale}}$ entsprechend vergrößern und das Ca-Reservoir des "medullary bone" wäre schon nach Ablage weniger Eier ziemlich entleert; trotzdem zeigt der Umfang des Ca-Speichers im "medullary bone", daß eine kurzfristige Einschränkung der Ca-Zufuhr, wie sie z.B. bei therapeutischen Maßnahmen notwendig werden kann, im allgemeinen durch die vorhandenen Ca-Reserven zu überbrücken ist.

D. Zum Radiocalciumgehalt einzelner Knochen in Relation zur Ca^{45} -Aktivität des Gesamtskeletts

Bezogen auf die Ca^{45} -Aktivität des Gesamtskeletts weisen die untersuchten Einzelknochen der Extremitäten recht unterschiedliche Radiocalciumanteile auf, wie aus Tabelle 11 hervorgeht. Die prozentuale Verteilung des Radiocalciums innerhalb des Skeletts bleibt in Periode 1 jedoch nahezu konstant. Bei ausgeglichener Ca-Bilanz, die bei den 18 Monate alten Tieren in Versuch II vorgelegen hat, sind Ca-Mobilisation und -Accretion gleich groß. Da das Nahrungscalcium in Periode 1 Ca^{45} -markiert war, kann die Ca^{45} -Aktivität des Gesamtskeletts als Maß für die

Ca-Accretion herangezogen werden. Die prozentuale Verteilung des Radiocalciums innerhalb des Skeletts gibt daher den prozentualen Anteil einzelner Knochen am Ca-Umsatz des Skeletts wieder. Demnach entfallen auf beide Femora und Tibiae zusammengenommen etwa 36 % und auf die Knochen der 4 Extremitäten zusammen 54 % des Ca-Umsatzes im Skelett.

In Periode 2 repräsentiert die Ca^{45} -Aktivität des Skeletts das noch nicht wieder mobilisierte Radiocalcium, dessen Anteil in Femur und Tibia geringer ist, verglichen mit dem Anteil dieser Knochen am Ca-Umsatz. Beim Metatarsus und Humerus liegen die Verhältnisse genau umgekehrt. Das deutet darauf hin, daß der Ca-Umsatz pro Gewichtseinheit Calcium in den verschiedenen Knochen unterschiedlich schnell abläuft, was auf die unterschiedlichen Anteile an "medullary bone" in den verschiedenen Knochen zurückgeführt werden könnte. Um hierüber auch qualitative Aussagen machen zu können, sind jedoch noch weitere, gezielte Experimente erforderlich, wobei sich diese über längere Zeiträume erstrecken sollten, damit auch kleine Differenzen in der Ca-Umsatzgeschwindigkeit zu erkennen sind.

E. Zur endogenen Ca-Fraktion in den Faeces

Die Bestimmung des endogenen Kotcalciums erfolgte in Periode 2 nach der Isotopenverdünnungsmethode, wobei $\text{SA}_{\text{Schale}}$ als Maß für die spezifische Aktivität des endogenen Calciums diente. Unter Berücksichtigung der endogenen Ca-Fraktion im Kot konnte aus der Differenz zwischen Ca-Einnahme und Ca-Exkretion mit den Faeces das aus der Nahrung resorbierte Calcium berechnet werden.

Eine Gegenüberstellung der in dieser Arbeit ermittelten Ca-Resorptionsdaten mit den von MUELLER und Mitarbeitern (22) sowie von KEHRER (18) mitgeteilten Werten bestätigt die bereits angedeutete Abhängigkeit der Ca-Resorption von der Ca-Zufuhr: Innerhalb des hier zur Diskussion stehenden Bereichs der Ca-Zufuhr steigt die absolut resorbierte Ca-Menge mit höheren Ca-Einnahmen, während der Ca-Resorptionskoeffizient fällt (Tabelle 14).

Tabelle 14

Vergleichende Angaben über die Ca-Resorption und
-Retention bei Legehennen an Tagen mit Eiablage

	Tägliche Calcium- Einnahme g	Täglich resorb. Calcium g	Ca-Resorp- tionsko- effizient %	Ca- Retention %
MUELLER und Mitarbeiter (22) 1-jährige Legehennen	2,32±0,17	1,81±0,17	78	71
KEHRER (18) 10 Monate alte Legehennen	3,22±0,49	2,40±0,46	74,5± 7,9	65,2± 8,8
2-jährige Legehennen	3,89±0,74	2,73±0,62	70,1±10,0	60,5±10,8
Eigene Versuche 7 Monate alte Legehennen	3,89±0,23	2,73±0,25	70,2± 5,9	62,0± 6,0
18 Monate alte Legehennen	3,34±0,41	2,28±0,33	68,2± 6,5	60,2± 6,1

Weiterhin ist aus Tabelle 14 zu ersehen, daß die Höhe der Ca-Zufuhr, jedenfalls im Bereich zwischen 2 - 4 g/Tier und Tag, die Differenz zwischen den jeweiligen Ca-Resorptions- und -Retentionskoeffizienten kaum zu beeinflussen scheint. Falls sich dieser Befund in weiteren Versuchen reproduzieren läßt, würde dies bedeuten, daß die Ca-Resorption auf Grund der wesentlich einfacher zu bestimmenden Ca-Retention mit für die Praxis ausreichender Genauigkeit zu ermitteln wäre.

VII. ZUSAMMENFASSUNG

1. An je 14 HNL-Legehennen im Alter von 7 (VERSUCH I) bzw. 18 Monaten (VERSUCH II) ist in einem zweiteiligen Experiment die Mobilisation und Exkretion von Depot-Calcium, die Ca-Accretionsrate im Skelett, die im "medullary bone" enthaltene Ca-Menge, der Ca^{45} -Anteil einzelner Knochen an der Ca^{45} -Aktivität im Gesamtskelett, sowie das endogene Calcium in den Faeces quantitativ bestimmt worden. Hierzu erhielten die Versuchstiere in Periode 1 eine auf 3 % Ca eingestellte, mit Ca^{45} -markiertem Calciumcarbonat supplementierte Ration und in Periode 2 die gleiche, aber nicht markierte Diät.
2. Aus dem Vergleich zwischen den analytisch ermittelten spezifischen Aktivitäten des Calciums im Futter und in den Eischalen bzw. im Kot wurde die vom 1. bis 8. Tag der Periode 1 mobilisierte i n a k t i v e Ca-Menge berechnet, um den Umfang der mobilisierbaren Ca-Fraktion innerhalb des Skeletts abzuschätzen. Die Exkretion an mobilisiertem inaktiven Depot-Calcium in Versuch I betrug mit Schale und Kot zusammen $3,50 \pm 0,52$ g und in Versuch II $4,93 \pm 0,84$ g.
3. Die über die spezifische Aktivität im "medullary bone" geschlachteter Tiere bestimmte tatsächliche Ca-Mobilisationsrate betrug an Legetagen pro Tier durchschnittlich $0,812 \pm 0,06$ g (Versuch I) bzw. $0,676 \pm 0,015$ g (Versuch II). Dies entspricht in Versuch I einem Anteil von 25 bzw. 5 % und in Versuch II von 13 bzw. 4 % der im "medullary bone" bzw. im gesamten Skelett enthaltenen Ca-Menge. Die festgestellte Differenz zwischen beiden Tiergruppen war mit $p < 5 \%$ zu sichern. Von

der mobilisierten Ca-Menge sind mit der Schale in Versuch I $0,687 \pm 0,069$ g und in Versuch II $0,596 \pm 0,011$ g Ca exkretiert worden; dies entspricht $35,1 \pm 5,1$ bzw. $29,1 \pm 2,4$ % des Gesamtcalciums der Schale, wobei die zwischen den Tieren des ersten und zweiten Versuchs ermittelte Differenz nicht signifikant war.

4. Die in das Skelett durchschnittlich an Legetagen eingebaute Ca-Menge betrug pro Tier und 24 Stunden in Versuch I $1,13 \pm 0,15$ g und in Versuch II $0,75 \pm 0,13$ g. Die gegenüber den älteren Versuchstieren höhere Ca-Accretionsrate der jungen Legehennen war mit $p < 5$ % statistisch zu sichern.
5. Die spezifische Aktivität des Calciums im "medullary bone" erreichte nach 4- bzw. 8-tägiger Ca^{45} -markierter Fütterung bei den jungen Legehennen (Versuch I) 75 % bzw. 85 % und bei den älteren Tieren (Versuch II) 25,5 % bzw. 60 % der spezifischen Aktivität im Futter. Die spezifische Aktivität der Kompakta lag jeweils zehn- bis fünfzehnfach niedriger als im "medullary bone".
6. Die aus den spezifischen Aktivitäten von "medullary bone", Kompakta und Gesamtskelett, sowie dem Skelett-Ca-Gehalt errechnete Ca-Menge im "medullary bone" betrug durchschnittlich in Versuch I $3,04 \pm 0,51$ g und in Versuch II $4,80 \pm 0,72$ g oder $21,1 \pm 5,7$ bzw. $28,1 \pm 4,8$ % des Calciums im Gesamtskelett. Die absoluten Ca-Gehalte im "medullary bone" zwischen den Tiergruppen sind mit $p < 5$ % signifikant unterschiedlich. Der prozentuale Anteil des Calciums im "medullary bone" am Gesamtcalcium beträgt im Femur $41,4 \pm 6,5$ und in der Tibia $28,0 \pm 3,1$ %.

7. Der Radiocalciumgehalt verschiedener Extremitätenknochen wurde bei Legehennen aus Versuch II, die zu verschiedenen Zeitpunkten im Verlauf der 1. und 2. Periode geschlachtet worden sind, in Prozent der Ca^{45} -Aktivität des Gesamtskeletts ausgedrückt. In Periode 1 entfielen auf beide Femora und Tibiae 36,4 % und auf die Extremitäten-Knochenpaare Femur, Tibia, Metatarsus, Humerus, Radius, Ulna und Metacarpus zusammen insgesamt 54,2 % der Ca^{45} -Aktivität im Gesamtskelett.
8. In Periode 2 sind an Legetagen in Versuch I $0,32 \pm 0,07$ g und in Versuch II $0,27 \pm 0,09$ g endogenes Kotcalcium ermittelt worden. Hierin war die Resekreationsrate in Höhe von $0,21 \pm 0,06$ g bzw. $0,14 \pm 0,02$ g Ca/Tier und Tag enthalten.
9. In Periode 2 resorbierten die Tiere im 2. Legemonat (Versuch I) an Legetagen von 3,89 g täglich aufgenommenem Nahrungscalcium $70,2 \pm 5,9$ % oder $2,73 \pm 0,25$ g. Bei einer täglichen Ca-Einnahme von durchschnittlich $3,34 \pm 0,41$ g resorbierten die Tiere im 13. Legemonat (Versuch II) $2,28 \pm 0,33$ g Ca = $68,2 \pm 6,5$ %. Die beobachteten Unterschiede waren statistisch nicht zu sichern.

VIII. LITERATURVERZEICHNIS

1. BAUER, G.C.H., A. CARLSSON and B. LINDQUIST:
Metabolism and homeostatic function of bone.
Mineral Metabolism, edited by
C.L. Comar and F. Bronner. New York:
Academic, 1961, vol. 1, part B 618
2. BLOOM, W., M.A. BLOOM and F.C. MCLEAN:
Calcification and ossification.
Medullary bone changes in the reproductive
cycle of female pigeons.
Anat. Rec., Philadelphia, 81, 443 (1941)
3. BLOOM, M.A., F.C. MCLEAN and W. BLOOM:
Calcification and ossification.
The formation of medullary bone in male
and castrate pigeons under the influence
of sex hormones.
Anat. Rec., Philadelphia, 83, 99 (1942)
4. BLOOM, M.A., L.V. DOMM, A.V. NALBANDOV and W. BLOOM:
Medullary bone of laying chickens.
Amer. J. Anat., 102, 411 (1958)
5. BRONSCH, K., K. LÖRCHER und B. STALDER:
Zum Calciumstoffwechsel des Geflügels.
1. Mitteilung.
Die Retention von markiertem Nahrungs-
calcium bei Jung- und Legehennen.
Zbl. Vet. Med., Reihe A, 14, 105 (1967)
6. BRONSCH, K., K. LÖRCHER und A. KEHRER:
Zum Calciumstoffwechsel des Geflügels.
2. Mitteilung.
Über die Resorption von Nahrungs-
calcium und die endogene Ca-Ausscheidung bei
Legehennen.
Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futter-
mittelkde., im Druck.
7. COMMON, R.H.:
Mineral balance studies on poultry.
J. Agric. Sci., London, 22, 576 (1932)

8. COMMON, R.H.:

Observations on the mineral metabolism of pullets, I.
J. Agric. Sci., London, 23, 555 (1933)

9. COMMON, R.H., W.A. MAW and J.R. JOWSEY:

Observations on the mineral metabolism of pullets. IX. The effects of oestrogen and androgen administered separately and together on the retention of calcium by the sexually immature pullet.
Canad. J. Agric. Sci., 33, 172 (1953)

10. ERDTMANN, G., und G. HERRMANN:

Wasserreiche Emulsionen zur Scintillationszählung wässriger Lösungen von β -Strahlen.
Radiochimica Acta, 1, 98 (1963)

11. GOVAERTS, J., and M.J. DALLEMAGNE:

Influence of folliculin on bone metabolism studied by means of radiophosphorus ^{32}P .
Nature, London, 161, 977 (1948)

12. HURWITZ, S., and P. GRIMINGER:

Observations on the calcium balance of laying hens.
J. Agric. Sci., London, 54, 373 (1960)

13. HURWITZ, S.:

Bone composition and Ca^{45} retention in fowl as influenced by egg formation.
Amer. J. Physiol., 206, 198 (1964)

14. HURWITZ, S.:

Calcium metabolism of pullets at the onset of egg production, as influenced by dietary calcium level.
Poultry Sci., 43, 1462 (1964)

15. HURWITZ, S.:

Calcium turnover in different bone segments of laying fowl.
Amer. J. Physiol., 208, 203 (1965)

16. HURWITZ, S., and A. BAR:
Calcium depletion and repletion in laying hens. 1. Effect on calcium in various bone segments, in eggshells and in blood plasma, and on calcium balance.
Poultry Sci., 45, 345 (1966)
17. HURWITZ, S., and A. BAR:
Calcium depletion and repletion in laying hens. 2. Effect on radiocalcium and radiostrontium retention in bone and deposition in the eggshell.
Poultry sci., 45, 352 (1966)
18. KEHRER, A.:
Über die Resorption von Nahrungs-Calcium und den Calcium-Austausch im Skelett bei Legehennen.
Vet. med. Diss., Berlin, 1966
19. KYES, P., and T.S. POTTER:
Physiological marrow ossification in female pigeons.
Anat. Rec., Philadelphia, 60, 377 (1934)
20. LANDAUER, W., C.A. PFEIFFER, W.U. GARDNER and J.C. SHAW:
Blood serum and skeletal changes in two breeds of ducks receiving estrogens.
Endocrinology, Boston, 28, 458 (1941)
21. LÖRCHER, K., und K. BRONSCH:
Zum Calciumstoffwechsel des Geflügels.
3. Mitteilung.
Der Einbau von markiertem Nahrungscaesium in die Eischale.
Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde., im Druck.
22. MUELLER, W.J., R. SCHRAER and H. SCHAEER:
Calcium metabolism and skeletal dynamics of laying pullets.
J. Nutrit., Philadelphia, 84, 20 (1964)

23. PFEIFFER, C.A., A. KIRSCHBAUM and W.U. GARDNER:
Relation of oestrogen to ossification and levels of serum calcium and lipoid in the English sparrow. *Passer domesticus*.
Yale J. Biol., 13, 279 (1940)
24. SIMKISS, K.:
Calcium metabolism and avian reproduction.
Biol. Rev. Cambridge Philos. Soc., 36, 321 (1961)
25. STRINGER, D.A.:
The Chemistry and Physiology of Bone with Special Reference to Medullary bone in the fowl (*Gallus domesticus* L.).
Ph. D. Th., University of Reading, 1962
26. TAYLOR, T.G., and J.H. MOORE:
Avian medullary bone.
Nature, London, 172, 504 (1953)
27. TAYLOR, T.G., and J.H. MOORE:
Skeletal depletion in hens laying on the low calcium diet.
Brit. J. Nutrit., 8, 112 (1954)
28. TAYLOR, T.G., and J.H. MOORE:
The effect of high and low levels of dietary inorganic phosphate on the pre-laying storage of calcium and phosphorus and on the composition of medullary and cortical bone in pullets.
Brit. J. Nutrit., 12, 35 (1958)
29. TYLER, C., and J.S. WILLCOX:
Calcium and phosphorus balances with laying birds.
J. Agric. Sci., London, 32, 62 (1942)
30. WARREN, D.C., and H.M. SCOTT:
The time factor in egg formation.
Poultry Sci., 14, 195 (1935)
31. ZONDEK, B.:
Impairment of anterior pituitary functions by follicular hormone.
Lancet, London, 231, 812 (1936)

Herrn Professor Dr. Kurt Bronsch möchte ich für das überlassene Thema und die stets gewährte großzügige Unterstützung und Förderung der Arbeit herzlich danken.

Herrn Oberassistent Dr. Konrad Lörcher danke ich besonders für seine wertvollen Anregungen und für die fachliche Beratung in praktischen und theoretischen Fragen der Durchführung und Auswertung der Versuche.

Mein Dank gilt auch den technischen Assistentinnen Frau Anneliese Lenke und Frau Inge Grosser für ihre unermüdliche Hilfsbereitschaft bei den analytischen Arbeiten.

Lebenslauf

Am 16. Februar 1938 wurde ich in Teupitz/Mark als Sohn des Krankenpflegers Karl Schneider und seiner Frau Käthe, geb. Freudenberg, geboren.

Von 1944 bis 1952 besuchte ich die Grundschule in Kuschow/Spreewald und anschließend die Oberschule in Lübben. Im Mai 1953 wechselte ich zur Robert-Blum-Schule in Berlin-Schöneberg über, an der ich 1958 die Reifeprüfung ablegte.

Im Wintersemester 1958/59 begann ich das veterinärmedizinische Studium an der Freien Universität Berlin. Mit dem Staatsexamen beendete ich im November 1964 das Studium. Nach anschließender halbjähriger Praktikantenzeit in Erkelenz erhielt ich im Juni 1965 die Approbation als Tierarzt.

Seit Oktober 1965 bin ich am Institut für Tierzucht und Tierernährung der Freien Universität als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig.

